Beiträge
zur Ausnutzung der Hochofengase.

Dissertation

zur

Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs

vorgelegt von

Dipl.-Ing. **Rudolf Buck** aus **Mülheim-Ruhr.**

Genehmigt von der Königlichen Technischen Hochschule zu Breslau.

Referent: Professor Simmersbach.
Korreferent: Dozent Dr.-Ing. Oberhoffer.

Düsseldorf
Verlag Stahleisen m. b. H., 1911.

41461.

Beiträge
zur Ausnutzung der Hochofengase.

Dissertation

zur

Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs

vorgelegt von

Dipl.-Ing. **Rudolf Buck** aus **Mülheim-Ruhr.**

Genehmigt von der Königlichen Technischen Hochschule zu Breslau.

ACAD. LAND.BAU. BIBL.

Referent: Professor Simmersbach.
Korreferent: Dozent Dr.-Ing. Oberhoffer.

Düsseldorf
Verlag Stahleisen m. b. H., 1911.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549813_0071

Herrn Hüttendirektor Dipl.-Ing. Adolf Wirtz,

Vorstandsmitglied der Deutsch-Luxemburgischen

Bergwerks- und Hütten - Aktien - Gesellschaft,

ergebenst zugeeignet.

Geschichtliches.

Bereits zu Ende des 18. und zu Beginn des 19. Jahrhunderts scheint man versucht zu haben, die Hochofengichtflammen zu Heizzwecken zu verwenden. An die Oeffentlichkeit mit derartigen Versuchen trat zuerst Aubertot im Jahre 1811. Er benutzte die Gichtflamme der Hochöfen im Cherdepartement zur Zementstahl- und Ziegelbereitung. Dieses Verfahren lernte Berthier kennen und veröffentlichte hierüber im Journal des mines* die erste Abhandlung. Aubertot war der erste Hüttenmann, der erkannte, daß die Wärmeentwicklung der Hochofengase vor allem durch die Verbrennung und nur zum geringen Teile durch die gebundene Wärme hervorgerufen werde. Das Errungene fand in den damaligen bewegten politischen Zeiten und der herrschenden Staatenzersplitterung wenig Beachtung. Die günstigen Einflüsse der Zuführung erhitzten Gebläsewindes für den wirtschaftlichen Betrieb und auf die Erzeugung der Hochöfen erkannte als erster der Engländer Neilson, der um die dreißiger Jahre des vorigen Jahrhunderts auf verschiedenen englischen Hüttenwerken eifrige Nachahmer fand.

In Deutschland war es Faber du Faur, der im Jahre 1830 mit großem Eifer und viel Verständnis an den Bau der Winderhitzungsapparate ging. Die zu jener Zeit bereits in England bestehenden Calderapparate scheinen ihm als Vorbild gedient zu haben. Im Laufe der Jahre verbesserte Faber du Faur seine Erfindung. Er erhöhte durch sie die Betriebssicherheit der Winderhitzer und die Ersparnisse an Brennstoffen, die besonders in Deutschland sehr in Betracht gezogen werden mußten. Er erreichte eine Steigerung der Erzeugung. Die vorteilhaftere Ausnutzung der Erze durch garere Schlacken eroberte Faber du Faur und seinen Winderhitzern Achtung und Nachahmung. In rascher Aufeinanderfolge entstanden die verschiedensten Bauarten von Winderhitzern, die in den ersten Jahren auch zur Vorwärmung des Windes für die Kupolöfen dienten. Man begann, die Gichtgase zum Verkohlen von Holz und zum Dörren zu verwenden. 1836 erhielt der englische Hüttenmann Viktor Sire ein Patent auf Stabeisenfabrikation unter Verwendung der Hochofengase, und in Deutschland war es 1837 wieder Faber du Faur, dem es nach langwierigen Versuchen zu Wasseralfingen gelang, Eisen unter Benutzung von Hochofengasen zu frischen.

1838 begann Bunsen mit seinen chemischen Untersuchungen. Er erforschte den Brennwert der Hochofengase und fand den Schlüssel zur theoretischen Erklärung des Hochofenschmelzprozesses. Er zeigte die Wege, die einzuschlagen waren bei Verwendung der Hochofengase zu Schmelz- und Frischprozessen. Bunsen bringt die Ausnutzung der Hochofengase zur Dampferzeugung öffentlich in Vorschlag und berechnet, daß die Menge der Gichtgase nicht allein zum Betriebe der Dampfgebläsemaschinen ausreicht, sondern daß sich ein ganz erheblicher Ueberschuß an Heizgasen ergibt, die zu den verschiedensten Zwecken Verwendung finden können. Bereits 1837 hatte man auf der Hütte zu Niederbronn diese Erwägungen in die Tat umgesetzt. Dort ging man sofort durch Schließen der Gicht sparsam mit dieser Energie um. Im Laufe der Jahre hat sich das Abdecken der Gicht zu der Vollkommenheit der heutigen mannigfachen Systeme der doppelten Gichtverschlüsse entwickelt, die nicht allein die geringsten Verluste an Gas, sondern auch möglichst geringe Druckschwankungen bewirken sollen.

Durch die verschiedenartigen Möllerungen weichen die Gichtgase in ihrer Zusammensetzung sehr voneinander ab. Der so sehr verschiedene Staubgehalt der Gase erschwert ihre sofortige Verwendbarkeit ungemein. Die verschiedenen Versuche auf den einzelnen Hüttenwerken schlugen deshalb zunächst fehl. Die Zeiten waren auch nicht dazu angetan, ernste Versuche erfolgreich durchzuführen. Es war deshalb den

* Jahrgang 1844.

sogenannten Gründerjahren vorbehalten, die Hüttenbetriebe aus einem Halbschlummer in Deutschland zu erwecken.

In den Jahren 1872 bis 1890 stieg die Roheisenerzeugung Deutschlands gewaltig. Bald sanken durch den internationalen Wettbewerb die Preise allenthalben, und in der Folge strebte man naturgemäß nach einer Verbilligung der Kosten für die Roheisenherstellung. In diesem Bestreben suchte man im Hüttenbetriebe die Handarbeit durch Maschinenkraft zu ersetzen, und die Erzeugung von Dampf, wie der elektrischen Energie, durch möglichste Ausnutzung der Hochofengase in Gasmaschinen zu verbilligen, oder durch den Gasmaschinenbetrieb die Dampferzeugung überhaupt zu verdrängen.

Mit dieser Errungenschaft nicht zufrieden, sucht man heute da, wo sich noch ein Gasüberschuß ergibt, die Kraft in Form elektrischer Energie an fernerstehende Werke abzugeben, oder die festen und teueren Brennstoffe, die in Hüttenwerken unmittelbare Verwendung finden oder zur Erzeugung von Generatorgas dienen, durch die den Hochofengasen innewohnende kalorische Energie zu ersetzen.

Die Zusammensetzung der Gichtgase.

Die Zusammensetzung der Hochofengichtgase hängt ab:

von dem Verlaufe des Hochofenprozesses,
der regelmäßigen Begichtung,
der im Hochofen erblasenen Roheisensorte,
von der chemischen und mechanischen Beschaffenheit des Gichtgutes, der Erze wie des Koks,
der vom Hochofen geforderten Tageserzeugung, d. h. der dem Hochofen zugeführten Windmenge,
der Zusammensetzung des Gebläsewindes und der Temperatur des Windes vor den Formen.

Da diese sämtlichen Faktoren naturgemäß Schwankungen unterworfen sind, ändert sich auch die chemische Analyse der Gichtgase beständig. Diese Schwankungen aber bleiben in solchen Grenzen, daß die Verwendbarkeit der Gase im Dauerbetriebe keine Einbuße erleidet. Die Verschiedenartigkeit der Gichtgase ergibt sich aus der Zusammenstellung von Analysen in Zahlentafel 1. Es sind Durchschnittsergebnisse aus einer großen Reihe von Analysen, die erst jüngst auf meine Bitte an verschiedenen Hochöfen mit verschiedener Roheisenerzeugung (bzw. verschiedener Erzmöllerung und Roheisengattung) ausgeführt wurden.

Zahlentafel 1. Gichtgasanalysen.

	CO Vol.-%	CO_2 Vol.-%
Thomaseisen	30,2	7,8
Stahleisen	26,5	11,6
Puddeleisen	29,5	8,0
Hämatiteisen	29,4	10,6
Gießereieisen	28,8	7,4
Ferrosilizium	29,6	4,7
Ferromangan	31,8	5,8

Die Temperatur der Gichtgase steht in Abhängigkeit von dem Gange der Hochöfen, von der Art und Beschaffenheit des erblasenen Roheisens, von der chemischen Zusammensetzung, dem Wassergehalte, der mechanischen Beschaffenheit des Erzmöllers und dem Wassergehalte der dem Ofen zugeführten Windmenge. Diese Faktoren bedingen jedoch keine den Betrieb und die Verwendung der Gase störenden Temperaturunterschiede. Den größten Einfluß auf diese Temperatur übt unstreitig die regelmäßige oder vielmehr unregelmäßige Begichtung des Ofens aus. Wird der Hochofen nicht dauernd bis an den Gichtverschluß heranreichend mit Gichtmaterial gefüllt, so steigen die Gastemperaturen sehr rasch. Es ist im übrigen bis heute noch nicht einwandfrei festgestellt, welche Faktoren die ganz unregelmäßigen und erheblichen Temperaturschwankungen insgesamt beeinflussen. Sorgfältige und regelmäßige Messungen der Gichttemperaturen ergaben, daß die Schwankungen nicht allein von der Begichtung, vom sogenannten Oberfeuer oder den bekannten Störungen abhängig sind.

Das Volumen der abziehenden Gichtgase, bedingt durch die Temperaturschwankungen, wechselt stark. Durch Verdampfen des hygroskopischen wie des Hydratwassers der Ofenbeschickung führen die Hochofengase Wasserdampf mit sich; dieser Wasserdampf beeinträchtigt den Heizeffekt des ungereinigten Gases.

Die Hochofengase sind verunreinigt durch den sogenannten Gichtstaub. Dieser Staub besteht aus mitgerissenen Feinerzen, aus Koksabrieb und aus vergaster Hochofenschlacke. Die Menge des Gichtstaubes ist abhängig vom Feingehalte der aufgegebenen Erze und von der Stückig- und Festigkeit des Koks. Wesentlicher aber beeinflußt diese Menge der rasche Ofengang und die Pressung des Windes und der Gase im Ofeninnern. Werden einem Hochofen nur Feinerze aufgegeben — und neigen infolgedessen die Gichten leicht zum Hängen —, so steigt der Staubgehalt des Gases ganz erheblich. Man hat in solchen Fällen 30 bis 40 g Staub/cbm Gas ermittelt. Der mittlere Staubgehalt dürfte indes mit 8 bis 10 g/cbm Gas von 0° C auskommen. Von diesen 8 bis 10 g/cbm bestehen etwa 60 bis 70% aus reinen, schweren Erzteilchen, die man durch Brikettierung wieder zu verwerten sucht, und die sich vermöge ihres spezifischen Gewichtes leicht wieder ausscheiden. Der größte Teil des Restes dagegen besteht, hauptsächlich bei Hochöfen mit höheren Gichttemperaturen und bei Erzeugung von grauen Roheisensorten, Ferromangan oder Ferrosilizium, aus vergaster Hochofenschlacke, wie die nachstehende Jahresdurchschnittsanalyse des Gichtstaubschlammes, der bei der Naßreinigung der Gase sich ergab, deutlich zeigt:

FeO	9,36 %	CaO	24,47 %
SiO_2	21,64 „	MgO	1,26 „
Mn	1,75 „	S	2,51 „
P	0,148 „	As	0,015 „
Al_2O_3	12,75 „	Pb	2,185 „

Diese Bestandteile des Gichtstaubes lassen sich in gründlicher Weise nur durch eine möglichst tiefe Abkühlung der Temperatur aus den Gasen entfernen. Die Ausscheidung dieses so fein in den Gasen verteilten Staubes, der dem Gase die milchig-weiße oder gelblich-rote Farbe gibt, wird deshalb der neuerdings angestrebten Trockenreinigung der Hochofengase noch manche Schwierigkeiten bereiten.

Die Gichtgasmengen eines Hochofens, bezogen auf 0° C und 760 mm Barometerstand, sind abhängig von der Roheisenerzeugung jedes einzelnen Hochofens, d. h. von der Menge des Koks, der zur Erzeugung von 1000 kg Roheisen erforderlich war. Da diese Zusammensetzung des Koks, wie des Möllers, chwankungen unterworfen ist, so sei bei der Berechnung das Mittel aus Koks- wie Gasanalysen angenommen:

Werden für je 100 kg Roheisen 100 kg Koks mit 88 % Kohlenstoff verbraucht, und enthält das Erz einschließlich Kalksteinzuschlag 6 % Kohlenstoff, so sind 94 kg Kohlenstoff für 100 kg Roheisen dem Hochofen zugeführt. Das Roheisen nimmt im Durchschnitt hiervon 4 kg auf. Für die Gasentwicklung verbleiben somit 90 % Kohlenstoff.

1 cbm Gas mit 10 % Kohlensäure und 28 % Kohlenoxyd enthält 0,205 kg Kohlenstoff, da 1 cbm Kohlensäure hiervon 0,5395 kg enthält. 90 kg Kohlenstoff liefern somit 439 cbm trockenes Hochofengas obiger Zusammensetzung, oder 1000 kg Koks liefern 4390 cbm trockenes Hochofengas von 0° C und 760 mm Druck.

Die Reinigung der Gase.

Mit der zunehmenden Verwendung der Hochofengase suchte man schon um das Jahr 1840 den Gichtstaub, der die Leitungen verstopfte, die Feuerungen verunreinigte und eine unvollkommene Ausnutzung bewirkte, aus den Gasen zu entfernen. Zehn Jahre später schlug man vor, den Staub, entsprechend der Wattschen Kondensation, durch Einspritzen von Wasser in die Gasleitung niederzuschlagen. Zu diesem Zwecke baute man sogenannte Waschkasten und wagerecht liegende offene Gasleitungen mit Wasserabschluß nach der Form eines ᘐ. Durch die Verschiedenartigkeit des Gichtstaubes und des durch Benetzung entstehenden Schlammes, der sich schwer bewältigen ließ, fand diese und noch manche andere Art der Reinigungsversuche wenig Nachahmung. Die Anschaffungskosten einer solchen Anlage in früheren Jahren spielten dabei allerdings die Hauptrolle.

Da sich der Gichtstaub auf seinem Wege durch die Leitungen teilweise von selbst absetzte, und man an allen Orten die Beobachtung machte, daß dort, wo die Richtung der Leitung geändert werden mußte, oder dort, wo die Querschnitte der Leitungen erweitert wurden, stets mehr Gichtstaub als in den übrigen Teilen der Rohre zu finden war, war es natürlich, daß man der Trockenreinigung das erste Augenmerk zuwandte. Die Aenderung der Strömungsrichtung des Gases wurde meist durch Auf- und Ab- oder durch Zickzackführung bewirkt. Der Staub sammelte sich an den am tiefsten gelegenen Stellen der Rohre und konnte während des Betriebes entfernt werden. Man versuchte, ähnlich den heutigen Wasserabscheidern bei der Naßreinigung, Stoßflächen in die Leitung einzubauen, damit sich beim Anprall des Gases an die Flächen der Staub reichlicher abscheide. Dabei beachtete man nicht, daß die Geschwindigkeit des Stromes durch die Querschnittsverengungen erhöht, und daß auf diese Weise der abgeschiedene Staub zum größten Teile immer wieder mitgerissen wurde.

So kam man von selbst, und zwar vor noch nicht allzulanger Zeit, auf die Erweiterung der Rohrleitung, auf den Bau senkrecht stehender Rohre mit größerem Durchmesser. Das Bestreben, die Geschwindigkeit des Gasstromes zu vermindern, zeitigte die sogenannten Staubsäcke im großen, die heute beim Bau von Neuanlagen sehr bevorzugt werden. Diese Staubsäcke oder Trockenreiniger dienen nicht allein zur Staubverminderung, sondern drücken auch gleichzeitig die Temperatur des Gases herunter. Es erscheint nicht ausgeschlossen, daß auch diese Volumenverminderung, hervorgerufen durch den Temperaturabfall, die Staubausscheidung in solchen Apparaten unterstützt.

Ueber die zweckmäßigste Bauweise dieser Rohrerweiterungen oder Trockenreiniger sind sich die Fachleute noch nicht einig. Der eine läßt das Gas von oben nach unten fallen, der andere von unten nach oben steigen. Der eine führt das Gas achsial, der andere tangential dem Trockenreiniger zu. Wieder andere führen das Gas tangential oben ein und saugen es aus zwei Drittel der Höhe des Staubsackes durch ein Mittelrohr nach oben wieder ab.

Maßgebend und reinigend wird in allen Fällen die Geschwindigkeitsverminderung sein und wirken. Der Effekt wird sich nach dem spezifischen Gewichte des abzuscheidenden Staubes richten. Die Schlußfolgerung ist demnach, die Trockenreiniger mit möglichst großem Durchmesser zu bauen.

Als Beispiel möge — aus der Praxis entnommen — ein Trockenreiniger dienen, der 20 m hoch ist und einen Durchmesser von 8,5 m aufweist. Das ihn durchströmende Gas hat eine Geschwindigkeit von mindestens 0,5 m und höchstens 0,8 m/sek. Diesem Reiniger treten die Gase mit 6 bis 8 g Staub und rund 200° C zu. Das Gas verläßt ihn mit 1,5 bis 1,8 g Staub bei einer Temperatur von 80 bis 100° C. Bei Berücksichtigung der Volumenverminderung kommt dieses Ergebnis einer Staubverminderung von etwa 60 % gleich.

Die ursprüngliche Ansicht, daß es möglich sei die Gasmaschinen mit solch trockenem und grob gereinigtem Gase zu betreiben, erwies sich bald als

irrig. Der Großgasmaschinenbauer stellte für die Gasmaschinen bald die Bedingung, daß ein Gas mit einem Reinheitsgrade von höchstens 0,05 g Staub/cbm bei 0° C zur Verfügung stehe, und daß das Gas möglichst gleichmäßig in seiner Zusammensetzung sei, daß also der Heizwert des Gases infolge der ungleichen Mengen des mitgeführten Wasserdampfes keinen solch erheblichen Schwankungen unterliegen darf.

Der wirtschaftliche Vorteil, der durch den Dauerbetrieb der Gasmaschinen dem Hüttenbetriebe erwuchs, und die Vorteile, die durch die Verwendung gereinigten Hochofengases in Winderhitzern und unter den Kesseln sich ergaben, ließen eine beispiellos rasche Entwicklung der Gasreinigungsmöglichkeiten folgen. Es galt, der Industrie ein neues Wirkungsfeld zu erobern.

Man unterscheidet heute:
vorgereinigtes und feingereinigtes Hochofengas.

Nach Art der Reinigung spricht man bei der Vorreinigung von:
a) einer Trocken- und
b) einer Naßreinigung;
bei der Feinreinigung, der die Vorreinigung vorausgeht, von:
c) einer Naßreinigung in Ventilatoren oder Zentrifugalwaschern
oder neuerdings von:
d) einer Trockenreinigung mit Filtern und Ventilatoren.

Zur Naßreinigung der Hochofengase hat vor allem die Erwägung geführt, daß es von gleicher Wichtigkeit für die Erreichung eines möglichst hohen Wirkungsgrades für Hochofengase ist, mit dem Staube gleichzeitig den Wassergehalt der Gase auf das theoretisch geringste Maß herunterzudrücken. Bei der Berührung mit Wasser nimmt zwar das heiße Gas solche Mengen von Wasserdampf auf, daß es für den praktischen Gebrauch unverwendbar ist. Man kühlt deshalb das Gas gründlich durch Einspritzung von Wasser im Ueberschuß in großen, mit Horden versetzten Rohren, und zwar nach dem Gegenstromprinzipe. Diese Hordenwascher, deren Bauart und Wirkungsweise als bekannt angenommen werden darf, dienen als Reiniger und Temperaturverminderer. Dieser Wascher bedient man sich praktischerweise, bevor das Gas die eigentlichen Naßreiniger, die Ventilatoren und Zentrifugen der verschiedensten Systeme durchstreicht; denn, ist einmal das Gas mit Wasser in Berührung gekommen, so soll auch die Kühlung so weit als möglich durchgeführt werden.

Eine Einspritzung von Wasser in die Trockenreiniger oder Staubsäcke bewirkt zwar eine energische Staubabscheidung, doch erreicht man in den erwähnten Naßwaschern ohne jegliche Mehrarbeit und mit kleineren, praktischen Betriebsvorteilen dasselbe. Eine Wassereinspritzung in Staubsäcke, lediglich zur Volumen- und Geschwindigkeitsverminderung, erscheint nicht ratsam, da die Temperatur des durchströmenden, unmittelbar von den Hochöfen kommenden Gases zu großen Schwankungen unterworfen ist. Die Wasserzuführung kann dauernd nicht entsprechend geregelt werden, und die Folge wird sein, daß der alsdann oder in besonders günstigen Momenten rascher ausgeschiedene Gichtstaub durch den Wasserüberschuß sich als Schlamm niedersetzt und den Gebrauch des eigentlichen Trockenreinigers beeinträchtigt. Wird dieser Gedanke in der Praxis durchgeführt, so erreicht man dadurch nur den Bau von Gasleitungen mit geringerem Querschnitt. Es fragt sich aber, ob diese geringeren Anschaffungskosten (und ihre Amortisation) die Betriebskosten rechtfertigen.

Neben diesen fest und senkrecht stehenden verschiedenen Waschern bedient man sich auch vereinzelt der beweglichen Kühler. In diesen Behältern rotieren Scheiben aus Drahtgeflecht, die in Wasser tauchen. Das Gas muß diese, durch Umdrehung gebildeten Wasserschleier durchstreichen, sich abkühlen und den Staub absetzen. Es können in einem solchen Apparate aber nur verhältnismäßig geringe Gasmengen gewaschen werden, weil die Abkühlung eingeringere ist als bei den statischen Systemen. Die technischen Schwierigkeiten beim Baue eines rotiee renden Waschers mit großem Volumen und großer Leistung sind so erheblich, daß die Aufstellung feststehender Apparate vorgezogen wird. Diese Rotationsapparate haben deshalb wenig Verwendung gefunden.

Bis heute gelang es nicht, durch die statischen wie rotierenden Kühler oder Wascher die Hochofengase bis auf den für Gasmaschinen und andere Verwendungszweige gewünschten Reinheitsgrad zu bringen. Man zentrifugiert deshalb das Gas nach dem Verlassen der Wascher. Der feine Staub, der wie im Wasser gelöst erscheint, läßt sich bei der Naßreinigung nur durch Schleudern entfernen, und selbst hier muß nochmals Wasser eingespritzt werden.

Die Ventilatoren der verschiedensten Systeme dienen nicht nur zum Ansaugen und Nachreinigen der Gase, sondern gleichzeitig zum Drücken des Reingases an die Verbrauchstellen.

Es sind noch weitere, neuere Bauarten neben diesen hauptsächlichsten Gasreinigungsverfahren aufgetaucht und patentiert worden. Sie haben aber nur vereinzelt praktische Ausführung gefunden, obwohl einzelne Systeme günstige und einwandfreie Ergebnisse zeitigten.*

Durch eine möglichst tiefe Kühlung des Gases in den Waschern sämtlicher Systeme sowie durch den Kraftbedarf der Zentrifugen oder Ventilatoren jeder Bauart wird der Kraftbedarf hoch, und der Betrieb der Reinigungsanlagen kostspielig. Die Einspritzung von Wasser in die Ventilatoren verteuert den Betrieb erheblich. Diesem Umstande hatman bislang nicht genügend Rechnung getragen, weil einerseits eine billigere Reinigungsart nicht bekannt, und anderseits durch den Uebergang zum Gasmaschinenbetriebe auf fast sämtlichen Hüttenwerken die Antriebsenergie reichlich zur Verfügung stand.

* Vgl. St. u. E. 1910, 17. Aug., S. 1397.

Trockenfeinreinigung.

Neuerdings sucht man auch diesen Kraftaufwand zu vermindern durch Mittel, die eine trockene Reinigung bis auf Feinreinigung der Gase ermöglichen. Eine Abkühlung der Gase auf Lufttemperatur sowie das Schleudern der Gase mit Wasser wird dadurch umgangen, daß das heiße Gichtgas nur bis auf den Taupunkt des Wasserdampfes gekühlt wird. Das etwas entwässerte und wieder erhitzte Gas wird durch ein Netz von Filterschläuchen mittels eines Ventilators, der nur zum Saugen und Drücken dient, gezogen. Der feine Staub setzt sich im Gewebe der Filterschläuche fest und wird von demselben selbsttätig und in gewissen Zeitabschnitten durch Rütteln und Senken der Schläuche und gleichzeitig durch selbsttätig bewirkten Gasgegendruck abgeworfen. Ohne Zweifel steht dieser Art der Reinigung noch ein großes Feld der Entwicklung bevor, da den bisher angewandten Verfahren durch Waschen in statischen und dynamischen Waschern Nachteile anhaften, die durch die Trockenreinigung, wenn nicht ganz aufgehoben, so doch erheblich geschwächt werden.

Die Trockenreinigung, bis zur Feinreinigung durchgeführt, ist billiger durch geringeren Kraft- und Wasserbedarf. Das Wasser wird hauptsächlich nur zur Kühlung des fein gereinigten Gases, zwecks Verminderung des Wassergehaltes im Gase, benötigt. Es bleibt so rein, daß es immer nach seiner Abkühlung wieder benutzt werden kann. In Wegfall kommen die auf verschiedenen Hüttenwerken beobachteten Schwierigkeiten der übermäßigen Steigerung der Härte des umlaufenden Wassers, die Inkrustierung der Hordenwascher, der Rohrleitungen, in denen noch nasses, schmutziges Wasser strömt, und der Kühlwerke. Die bei zu geringer Wassereinspritzung in die Ventilatoren sich hier zementartig ansetzenden Staubablagerungen verschwinden. Der Staub wird trocken gewonnen und läßt eine sofortige Brikettierung zu. Wesentlich geringere Betriebskosten treten ein dadurch, daß die raumverschwendenden kostspieligen Kläranlagen und die teuere Schlammentfernung nicht erforderlich sind. Eine Verschmutzung der Flußläufe und ihre üblen Folgen sind ausgeschlossen.

Die Kraftbedarfskosten sollen sich nach bekannt gewordenen Angaben um etwa 60 % der heutigen verringern. Der Betrieb mit senkrecht hängenden Schläuchen erscheint mir jedoch sehr kostspielig, auch ist der bislang erdachte Abklopfmechanismus beim Schlauchbetriebe und bei Bewältigung großer Gasmengen gewiß mit vielen Störungen verbunden. Bei der geringsten Beschädigung muß ein ganzer Schlauch, also eine ganze Arbeitsfläche, ausgewechselt werden.

Vorteile der Gasreinigung.

Die aus einer guten Gasreinigung entspringenden Vorteile für den Hochofenbetrieb sind:

1. Die Betriebsstörungen wegen Verstopfungen der Rohrleitungen durch Gichtstaub fallen fort oder werden auf ein Mindestmaß beschränkt.
2. Der Betrieb der Kessel und Winderhitzer ist ein regelmäßigerer.
3. Das Volumen des Gases erfährt eine erhebliche Verminderung, und die Rohrleitungen können kleiner bemessen werden.
4. Die Anschaffungskosten werden dadurch geringer.
5. Der im Gase enthaltene Wasserdampf wird kondensiert und ausgeschieden.
6. Das Gas wird leichter brenn- und entflammbar.
7. Der Heizwert des Gases wird erhöht.
8. Der Wirkungsgrad des Gases bei jeglicher Verbrennung ist größer.
9. Den Hochöfen wird weniger Gichtstaub, als früher zugeführt. Der Gichtstaub setzte sich in den Winderhitzern ab und wurde zum größten Teile wieder den Oefen zugeführt, wo er in der Hauptsache nur Schlacke brachte und den Koksverbrauch ungünstig beeinflußte.
10. Die Reinigungskosten der Rohrleitungen, der Kessel und Winderhitzer werden geringer, die Stillstände der Hochöfen dadurch seltener.
11. Die durch die häufig notwendig werdende Reinigung der Winderhitzer erfolgenden Wärmeverluste und die nachteiligen Wirkungen auf die feuerfesten Steine der Apparate, die beim Kaltstellen und Reinigen leiden, werden geringer.
12. Die Lebensdauer der Apparate wird wesentlich erhöht, die Materialkosten werden kleiner.
13. Die Heizflächen der Winderhitzer bleiben reiner, der Nutzeffekt größer. Die Folge davon ist die Gasersparnis.
14. Der Betrieb der Gasmaschinen wird sicherer.

Alle diese Vorteile erklären sich nicht allein durch die Entfernung des aus den Hochöfen mitgerissenen Gichtstaubes, sondern auch aus der Abkühlung der Gase und der Abscheidung der stets im Gichtgas enthaltenen Mengen Wasserdampf. Dieser Wasserdampfgehalt wird durch die Abkühlung auf das praktisch niedrigste Maß heruntergedrückt. Bei Verbrennung der Gase muß dieses Wasser überhitzt werden. Hierdurch erleidet die Wärmeentwicklung des im Gase enthaltenen Kohlenoxydes bei der Verbrennung zu Kohlensäure eine erhebliche Einbuße. Die Verbrennungstemperatur der Rohgase ist eine niedrigere als die des gereinigten, möglichst trockenen Gases. Bei kleinerem Temperaturgefälle muß die Wärmeübertragung an den Heizflächen allerart langsamer

vor sich gehen. Der Nutzeffekt der Heizung mit Rohgas ist daher geringer als der der Heizung mit Rein- und Trockengas. Eine bestimmte Wärmemenge — und zwar beträchtliche Mengen — werden durch das große Volumen des stets miterhitzten Wasserdampfes durch den Winderhitzer zum Schornstein geführt und weggeschleppt.

Die Trocknung der Hochofengase ist, wie bereits bemerkt wurde, kaum anders als durch energische Abkühlung zu erreichen. Der Wasserdampf muß kondensiert und als Wasser abgeschieden werden. Die Praxis hat auch gezeigt, daß der damit verbundene Wärmeverlust nicht so groß ist, wie der Verlust, der sich aus dem schlechten Wirkungsgrad der Heizung mit nassen Gasen ergibt. Am augenfälligsten werden eine möglichst tiefe Abkühlung der Gase und deren Folgen sich beim Dauerbetriebe der Gasmaschinen bemerkbar machen.

Die Verwendung der Gase.

Es soll möglichst sämtlicher Verwendungszweige des Hochofengases gedacht, in der Hauptsache aber nur auf die Neuerungen und Verbesserungen hingewiesen und besondere Aufmerksamkeit der Benutzung der Hochofengase zum Heizen der Martinöfen, Mischer und Koksöfen und zum Trocknen in Gießereibetrieben geschenkt werden.

Kraftgas.

Die Verwendung des Hochofengases als Kraftgas soll vorausgeschickt werden: hat doch gerade diese Verwendungsart die besondere Beachtung der Hochofengase und des Hochofens als Gaserzeuger hervorgerufen. Der großen wirtschaftlichen Ausnutzung des gereinigten Gases in Kraftmaschinen folgte unmittelbar die wirtschaftlichere Verwendung des Gases in Winderhitzern und unter Kesseln sowie die Verwendung des Gases überhaupt in Hüttenanlagen, die sich an einen Hochofenbetrieb anschließen oder dem Charakter nach vom Hochofenbetriebe abhängig sind.

Wie bereits erwähnt, ging mit der Entwicklung der Großgasmaschine die der Gasreinigung Hand in Hand. Die Bedingungen, die an die Reinheit der Hochofengase seitens der Maschineningenieure gestellt wurden, waren bald erfüllt. Die Folge davon war, daß bereits im Jahre 1908, nachdem der Bau von Großgasmaschinen acht Jahre früher in Angriff genommen war, in der ganzen Welt über eine Million Pferdekräfte in Gasmaschinen über 1000 Pferdekräfte Einzelleistung im Betriebe oder in Ausführung gewesen sind.* Die Gründe dieser gewaltigen Entwicklung liegen in den wirtschaftlichen Vorteilen der Gasmaschine und in der außerordentlich raschen Ueberwindung der technischen Schwierigkeiten, welche sich dem Bau und dem Dauerbetrieb von Großgasmaschinen entgegenstellen.

Die Vorteile der Großgasmaschine beruhen auf ihrem hohen thermischen Wirkungsgrade, der das Doppelte der Dampfmaschinen erreicht. Die Gasmaschine erzeugt mit derselben Gichtgasmenge die drei- bis vierfache Kraft. Da nun die Hüttenwerke die größten Kraftverbraucher sind, so mußte die Gasmaschine bei ihnen zuerst und gleichzeitig am ausgiebigsten Fuß fassen. Es standen ja auch auf den Hütten gewaltige Brennstoffmengen in den Hochofengasen ausreichend zur Verfügung. Die Energiebilanz eines Hochofens ergibt, daß etwa 45 % der in Form von Koks zugeführten Wärmemengen anderweitige Verwendung finden kann, und daß, ganz abgesehen von den großen Gasmengen, welche die Winderhitzer bei gut geleiteten Hochöfen für sich in Anspruch nehmen müssen, für Gasmaschinen zur Erzeugung des Gebläsewindes oder zur Erzeugung der elektrischen Energie noch nennenswerte Mengen sich erübrigen.

Die Gasmaschinen dienen heute nicht mehr allein dem reinen Hochofenbetriebe, sie sind Kraftgeber für Transport- und Hilfsmaschinen aller Art, für Wasserförderung und zu Beleuchtungszwecken, für Stahl- und Walzwerke und zur Elektrostahlerzeugung. Zur Erzeugung von einer Pferdekraftstunde in Dampfmaschinen wurden früher unter den Kesseln mit ungereinigtem Gase 12 bis 18 cbm, mit vorgereinigtem Gase 10 bis 12 cbm verbraucht. Die Gasmaschinen neuester Bauart erzeugen dagegen je nach dem Heizwert des zur Verfügung stehenden Hochofengases 1 Pferdekraftstunde mit rund 3,0 cbm Gas (von 0° C und 760 mm Barometerstand). Die Folge einer solch gewaltigen Gasersparnis mußte sein, daß sich ein Ueberschuß in fast sämtlichen Hüttenwerken an elektrischer Energie ergab, und daß dieser Ueberschuß an Strom billigst an Ueberlandzentralen abgegeben werden konnte, daß Strom zur Verfügung stand für industrielle Nachbarwerke und für Gemeinden, für Straßenbahnen, Wasserwerke und städtische Beleuchtungsanlagen.

Heizen der Winderhitzer.

In dem Streben nach höherer Roheisenerzeugung der Hochöfen erlangte die Winderhitzung immer größere Wichtigkeit. Die Verbesserung der Apparate zur Winderhitzung wurde bedingt durch das Verlangen nach höheren, gleichmäßigeren Windtemperaturen, um eine Verbilligung der Herstellungskosten zu erzielen. Es ist bekannt, welche Einflüsse die Windtemperaturen auf den Schmelzprozeß und seine Kosten ausüben.

* Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1908, 12. Dez., Seite 2017.

Die ältesten Winderhitzer waren die eisernen. In diesen konnten Temperaturen bis 500 ° C erreicht werden. Sie wurden zunächst zum Teil durch Rostfeuerung, zum Teil durch Verbrennung der ungereinigten Hochofengase erhitzt. Die letztere Art der Erwärmung gelangte bald nur noch allein zur Anwendung, und es entwickelten sich im Laufe der Jahre die verschiedensten Bauweisen von Winderhitzern. Nach mannigfachen Verbesserungen der eisernen Winderhitzer bekamen aber in den 70er Jahren die

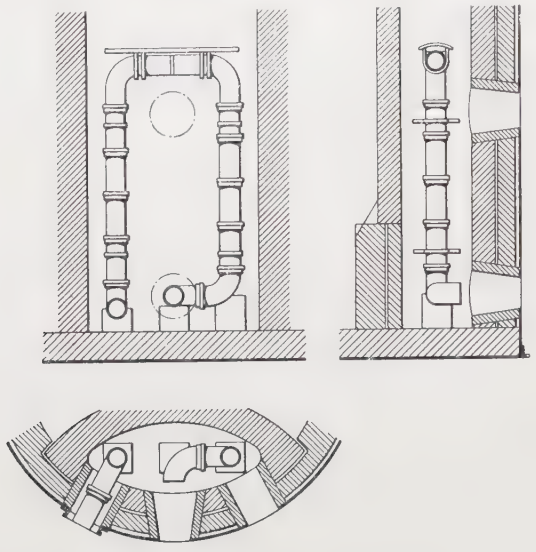

Abbildung 1.

Luft-Vorwärmer für Cowper-Apparate.

steinernen die Oberhand, da in ersteren sowohl mit liegenden wie mit stehenden Rohren höhere Temperaturen des Windes als 500 ° C kaum erreicht wurden.

Die Bauart der heutigen steinernen Winderhitzer ist mit ganz wenigen Ausnahmen im Grunde überall dieselbe. Das Streben geht heute dahin, möglichst große Heizflächen auf möglichst kleinem Raume zu erhalten, möglichst hohe Temperaturen mit vorgereinigtem Gas zu erzielen und mit den dazu erforderlichen Gasmengen sparsamst umzugehen. Bei Heizung mit ungereinigtem Gase erforderten nach allgemeinen Betriebserfahrungen die Winderhitzer mindestens 50 % der aus dem Hochofen entweichenden Rohgasmenge. Mit der Zufuhr gereinigten Gases und den damit verbundenen Vorteilen sank dieser Bedarf erheblich. Man sucht heute durch Vorwärmung der erforderlichen Verbrennungsluft diese Gasmengen noch weiter einzuschränken und zugleich die Leistungsfähigkeit der Apparate und damit die Windtemperatur zu erhöhen. Eine äußerst einfache Ausführungsform der Erwärmung der Verbrennungsluft zeigt Abb. 1.

Die Luft wird durch ein Rohr aus bestem feuerfestem Material von 300 mm Durchmesser angesaugt. Dieses Rohr, aus kleinen Abschnitten mit Muffen zusammengesetzt, ermöglicht ein bequemes Auswechseln durch die Verschlüsse. Die erwärmte Luft wird dem Gasstrome entgegengeführt. Eine Zunge aus feuerfesten Steinen, in die Gaszuführung eingesetzt, zerteilt das Gas beim Eintreten in den Winderhitzer. Durch diese Luftzuführung wird das Gas nochmals zerstäubt. Es wird dadurch eine sofortige, vollständige Verbrennung des Gases erzielt. Die verbrannten Gase erhitzen das Luftrohr und steigen alsdann im Schachte nach oben. Der obere Teil des Luftrohres ist durch ein aufgesetztes Dach gegen herabfallende Steine geschützt.

Die vorzügliche Verbrennung und Ausnutzung der Gase veranschaulicht nachstehende Zusammenstellung der Analysen der Abgase an verschiedenen Winderhitzern (s. Zahlentafel 2). Die Einzelanalysen sind Wochendurchschnitte aus täglich wiederholt gefertigten Analysen.

Zahlentafel 2.

Abgase von Winderhitzern.

Apparat Nr.	Zeit	CO_2 %	O %	CO %
1	1. Woche	21,8	0,6	0,8
1	2. „	23,0	0,4	0,2
1	3. „	22,4	1,6	1,0
1	4. „	22,3	0,8	0,9
2	1. „	20,2	0,9	1,0
2	2. „	22,6	1,0	0,8
2	3. „	22,1	0,8	0,6
2	4. „	22,4	0,6	0,7
8	1. „	21,0	1,0	1,4
8	2. „	23,2	0,4	—
8	3. „	24,0	0,2	—
8	4. „	24,2	0,2	—
9	1. „	21,6	1,2	1,4
9	2. „	23,2	0,2	0,4
9	3. „	24,4	0,4	—
9	4. „	24,2	0,6	0,6

Eine andere sehr vorteilhafte Vorrichtung zur Erzielung des gleichen Zweckes besteht in einem im Mauerwerke des Verbrennungsschachtes vorgesehenen Kanale, durch den die Verbrennungsluft streicht, sich erwärmt und dann dem Gase im Verbrennungsschachte zugeführt wird.

Heizen der Kessel.

Die Hochofengasfeuerungen unter den Kesseln haben im Laufe der Jahre nicht die Entwicklung genommen, wie die der Winderhitzer. Man stellte von vornherein eine genügende Anzahl von Dampfkesseln auf, um zuerst den Hochofenbetrieb, später den Betrieb des gesamten Hochofen- oder Hüttenwerkes, je nach seinem Umfange, aufrecht erhalten oder die Betriebe mit Dampf versehen zu können. Die Kessel und ihre Kanäle wurden von Zeit zu Zeit einzeln außer Betrieb genommen, wenn man glaubte, daß die Gase durch Ansetzen von Gichtstaub an den Kesselwandungen nicht mehr ausreichend wirkten.

Die Verbrennungsluft wurde vorgewärmt, indem dazu die Hitze des Verbrennungsraumes ausgenützt wurde (Lürmannsche Feuerung). Der Wirkungsgrad der mit ungereinigtem Gase geheizten Kessel stand aber weit hinter dem der Kessel zurück, die mit Kohlen gestocht wurden.

Mit der Reinigung der Hochofengase läuft parallel der Bau von Gasmaschinen und damit die unmittelbare Verwendung des Gases. An den bestehenden Kesselanlagen wurde deshalb wenig geändert. Man begnügte sich dort, wo Dampf neben den Gasmaschinen noch zu erzeugen war, mit den Vorteilen, die das gereinigte Hochofengas mit sich brachte.

Eine neuere Kesselfeuerung bei Heizung mit vorgereinigtem Gase zeigt Abb. 2. Das Gas tritt direkt in die Flammrohre der Kessel und wird durch die achsial zugeführte und vorgewärmte Luft bei der Entzündung zerstäubt. Eine Koksofengaszündflamme entzündet das Gas nach etwaigem Ausbleiben wieder. Die verbrennenden Gase werden an die Peripherie der Flammrohre gedrückt. Die Wirkung dieser Neuerung überstieg die Erwartung. Der Kessel erzeugte mit 1 cbm Hochofengas etwa 1,0 kg Dampf von 8 at Ueberdruck für 1 qm Heizfläche, was einer normalen Kesselheizung mit Kohle von 7500 WE entspricht.'

Die Abgase dieser Hochofengaskesselheizung haben nachstehende Monatsdurchschnittsanalyse:

$CO_2 = 21{,}8\,\%$, $O = 0{,}6\,\%$, $CO = 0{,}25\,\%$.

Eine ähnliche Gasfeuerung für Kessel, unter Umständen auch für Winderhitzer, ist die Terbeck-sche (s. Abb. 3). In den Flammrohren sind zwei Düsenbrenner mit Zündflammen angeordnet, die das Gas aus einem mit dem Zuleitungsrohre verbundenen Gasverteiler empfangen und durch Ventile einzeln an- und abgeschlossen werden können. Die Brenner sind in einer an der Stirnwand des Kessels befindlichen Eisenplatte befestigt. Sie sind mit Schaulöchern zur Beobachtung des Verbrennungsvorganges versehen. Bei Kesseln mit besonders großen Heizflächen kann ein ganzes System von Düsenbrennern kreisförmig im Flammrohre angeordnet werden. In das innere Verbrennungsrohr der Düsen, das an der Verbrennungstelle durch einen Kopf geschützt ist, ragt die mit einem Ventil versehene Gasdüse. Die

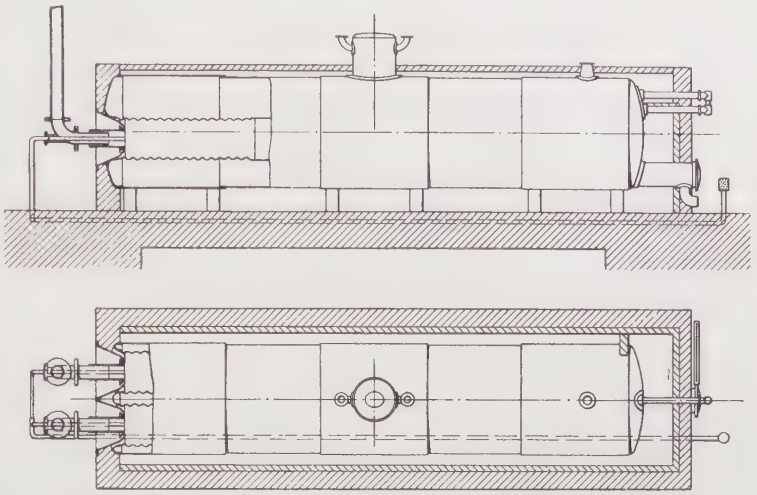

Abbildung 2.

Dampfkessel mit Gichtgasfeuerung und Luftvorwärmung.

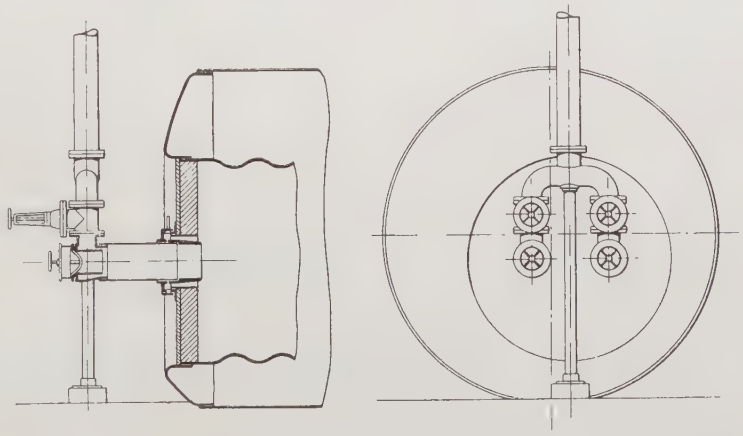

Abbildung 3.

Gasfeuerung, Bauart Terbeck.

Primärluft tritt durch eine Reihe von seitlichen Oeffnungen zu. Diese Oeffnungen können durch einen Ringschieber eingestellt werden. Auf dem Wege durch das Brennerrohr tritt eine innige Mischung von Gas und Luft ein. Reicht diese Primärluft zur vollständigen Verbrennung nicht aus, so kann durch ein zweites konzentrisches Rohr, das ebenfalls durch einen Ringschieber einstellbare Oeffnungen besitzt, vorgewärmte Sekundärluft zugeführt werden. Das Gas verbrennt durch diese Anordnung ohne Stichflamme und vollständig. Die Betriebsergebnisse dieser Feuerungen sollen gleichfalls vorzügliche sein. Bis heute sind die Feuerungen nur für Koksofengas ausgeführt worden. Es ist aber fraglos, daß sie sich für Hochofengasfeuerungen ebenfalls eignen.

Beheizen der Martinöfen.

Das Generatorgas, das bislang in Deutschland allein zur Beheizung der Martinöfen diente, wird neuerdings durch Koksofengas oder durch eine Mischung von Hochofen- und Koksofengase ersetzt.

Die Mischung dieser Gase erfolgt in einem solchen Verhältnisse, daß ein Gas mit 1600 bis 1800 WE sich ergibt. Die Einstellung der Absperrschieber in den einzelnen Gaszuführungsleitungen ermöglicht eine Regelung des Gasgemisches und seines Heizwertes je nach dem für den Schmelzprozeß erforderlichen Bedarfe. Bei der Verwendung reinen Hochofengases ist der Prozeß wohl durchzuführen, doch wird er so in die Länge gezogen, daß die Qualität des erzeugten Stahles in Frage steht. Die Verwendung dieses Gasgemisches ist selbstverständlich auch bei Roheisenmischern möglich. Nachfolgende Betriebsergebnisse eines Stahlwerkes veranschaulichen die Ausnutzung der Hochofengase in bestimmten Mischverhältnissen.

Betriebsergebnisse: Als Versuchsofen diente ein 10-t-Martinofen mit sauerem Herde. Die Beheizung des Ofens geschah durch Mischgas (Koksofen- und Hochofengas). Bei einer Versuchscharge wurde nur reines Hochofengas verwendet. Aus den Zahlentafeln 3 bis 5 und Schaubildern 1 bis 4 ersieht man, daß bei einem Mischgase von 1600 bis 1900 WE die Ofentemperaturen sich zwischen 1700 und 1950 ° C bewegen je nach den Verhältnissen: Luft zu Gas oder dem jeweilig vorherrschenden Drucke des Gasgemisches. Das Verhältnis Gas zu Luft konnte nicht festgestellt werden, doch war Luft auf Grund der Analysen nicht im Ueberschuß vorhanden. Die Messung der Ofentemperaturen wurde, sobald der Einsatz geschmolzen war, begonnen und in Zwischen-

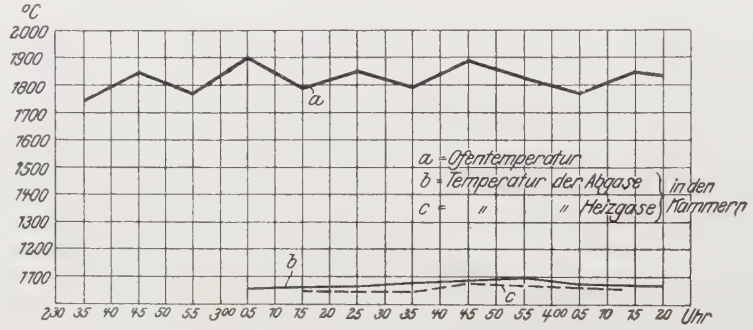

Schaubild 1.

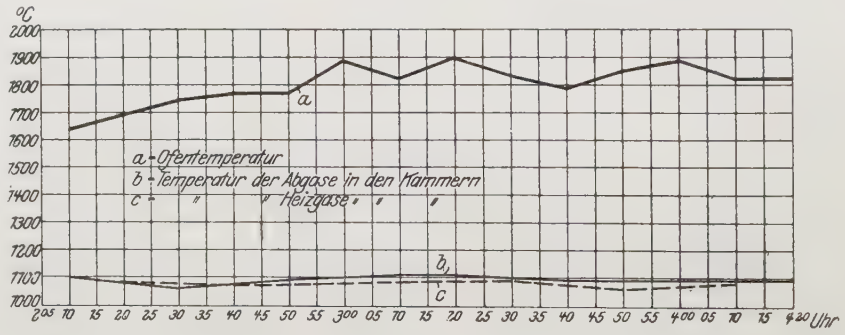

Schaubild 2.

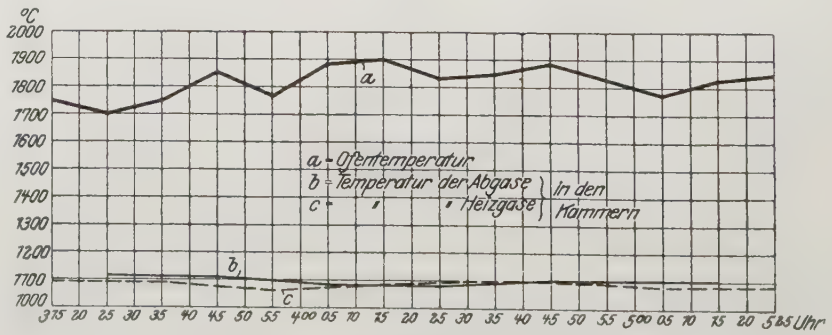

Schaubild 3.

Zahlentafel 3. Stahlcharge Nr. 1.

Zeit	Ofen-temperatur	Temperatur der Heizgase in den Kammern	Temperatur der Abgase in den Kammern	Gasanalysen	Koksgas	Gichtgas	Mischgas	Abgase in den Kammern	Abgase in der Esse
	°C	°C	°C	%	%	%	%	%	%
2^{35}	1744	—	—	CO_2	—	—	5,4	6,1	5,6
2^{45}	1848	—	—	O	—	—	0,2	0,5	11,2
2^{55}	1770	—	—	CO	—	—	18,0	2,3	1,0
3^{05}	1900	1060	—	H_2	—	—	28,5	3,4	—
3^{15}	1796	1060	1050	CH_4	—	—	5,1	—	—
3^{25}	1848	1070							
3^{35}	1796	—	1050	Analyse des Stahls					
3^{45}	1887	1080	1085		Si	P	Mn	S	C
3^{55}	1822	1100			%	%	%	%	%
4^{05}	1770	1085	—		0,18	0,062	0,52	0,049	0,224
4^{15}	1848	1085	1060						
4^{20}	1836	1070	—						

Bemerkungen: Das Mischgas hatte durchschnittlich 1900 WE, das Mischverhältnis war etwa: $\frac{\text{Koksgas}}{\text{Gichtgas}} = \frac{1}{4}$.

Zahlentafel 4. Stahlcharge Nr. 2.

Zeit	Ofen-temperatur	Temperatur der Heizgase in den Kammern	Temperatur der Abgase in den Kammern	Gasanalysen	Koksgas	Gichtgas	Mischgas	Abgase in den Kammern	Abgase in der Esse
	°C	°C	°C	%	%	%	%	%	%
2^{10}	1640	1100	—	CO_2	—	—	4,2	5,1	6,8
2^{20}	1692	—	1080	O	—	—	0,8	0,4	10,0
2^{30}	1744	1060	—	CO	—	—	16,0	2,6	0,6
2^{40}	1770	—	1070	H_2	—	—	29,0	4,1	—
2^{50}	1770	1090	—	CH_4	—	—	3,0	—	—
3^{00}	1887	1100	—						
3^{10}	1822	1110	—						
3^{20}	1900	1110	—						
3^{30}	1836	—	1090	Analyse des Stahls					
3^{40}	1796	1090	—		Si	P	Mn	S	C
3^{50}	1848	—	1060		%	%	%	%	%
4^{00}	1887	1090	—		0,17	0,068	0,57	0,051	0,234
4^{10}	1822	—	1080						
4^{20}	1822	1090	—						

Bemerkungen: Das Mischgas hatte durchschnittlich 1663 WE, das Mischverhältnis etwa: $\frac{\text{Koksgas}}{\text{Gichtgas}} = \frac{1}{4{,}5}$.

räumen von 10 Minuten bis zum Abstiche der Charge oder bis zur Beendigung des Versuches durchgeführt. Die Beobachtung erfolgte durch die Mitteltüre des Ofens mit einem Wannerschen Pyrometer aus einer Entfernung von 2,5 m. Die Temperaturen der Heizgase und die der Abgase in den Kammern wurden mit einem thermoelektrischen Pyrometer nach Le Chatelier bestimmt. Dasselbe ragte etwa 600 mm in die Schauöffnung der linken Luftkammer hinein und war luftdicht verschlossen. Die Temperaturen der die Kammern beheizenden Abgase wie auch die der einströmenden Heizgase schwanken zwischen 1050 und 1100 ° C und zwar derart, daß die Temperaturen der Heizgase sich meist unter denen der Abgase bewegen (s. Schaubild), es verlaufen hier die Linien der Heizgase in geringem Abstande unter denen der Abgase. Die Ablesungen erfolgten auch hier in Ab-

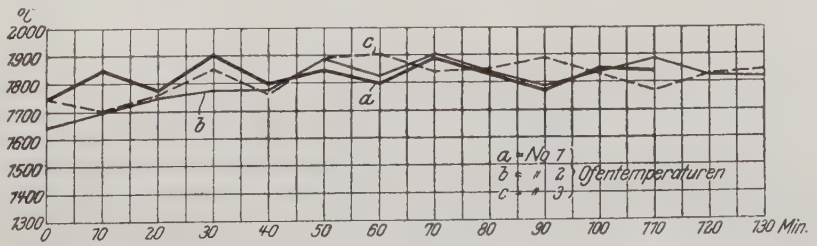

Schaubild 4.

Zahlentafel 5. Stahlcharge Nr. 3.

Zeit	Ofen-temperatur	Temperatur der Heizgase in den Kammern	Temperatur der Abgase in den Kammern	Gasanalysen	Koksgas	Gichtgas	Mischgas	Abgase in den Kammern	Abgase in der Esse
	°C	°C	°C	%	%	%	%	%	%
3^{15}	1744		1090	CO_2	—	—	4,4	6,0	5,6
3^{25}	1692	1110		O.....	—	—	0,6	—	10,2
3^{35}	1744		1090	CO	—	—	15,0	3,2	1,0
3^{45}	1848	1110		H_2	—	—	36,7	5,9	—
3^{55}	1770		1060	CH_4....	—	—	4,2	—	—
4^{05}	1887	1080							
4^{15}	1900		1080						
4^{25}	1836	1080							
4^{35}	1848		1100	Analyse des Stahls					
4^{45}	1887	1100							
4^{55}	1822		1090		Si	P	Mn	S	C
5^{05}	1770	1100			%	%	%	%	%
5^{15}	1722		1080						
5^{25}	1848	1080			0,18	0,067	0,49	0,053	0,280

Bemerkungen: Das Mischgas hatte durchschnittlich 1775 WE, das Mischverhältnis: $\frac{\text{Koksgas}}{\text{Gichtgas}} = \frac{1}{4}$.

ständen von 10 Minuten. Die Gasproben wurden etwa in der Mitte der ganzen Versuchszeit genommen und mit dem Orsatapparate sorgfältigst analysiert. Die Ergebnisse sind aus den Zahlentafeln ersichtlich. Das Mischgas wurde kurz vor dem Ventile entnommen, die Abgase in den Kammern durch die Schauöffnung der rechten Gaskammer und die der Esse durch eine kurz über der Hüttensohle angebrachte Oeffnung.

Das Mischverhältnis von Koksofen- zu Hochofengas beträgt bei den ersten drei Chargen durchschnittlich 1 : 4. Der auffallend niedrige Methangehalt des Mischgases verglichen mit dem Wasserstoffgehalte läßt sich aus obigen Mischverhältnissen nicht erklären, wenn der Berechnung ein normales Koksgas mit 1,5 % Kohlensäure, 7,0 % Kohlenoxyd, 42,0 bis 48,0 % Wasserstoff und 24,0 bis 28,0 % Methan und ein Hochofengas von durchschnittlich 8,0 % Kohlensäure, 30,0 % Kohlenoxyd und 2,0 % Wasserstoff zugrunde gelegt wird.

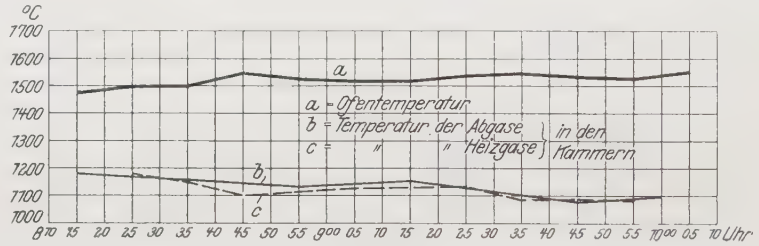

Schaubild 5.

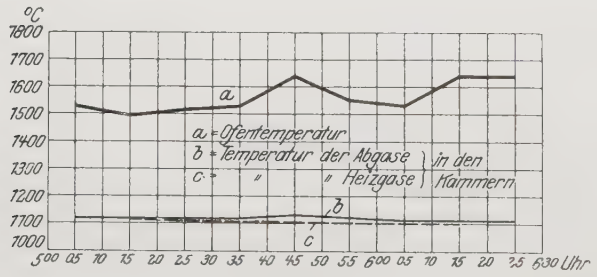

Schaubild 6.

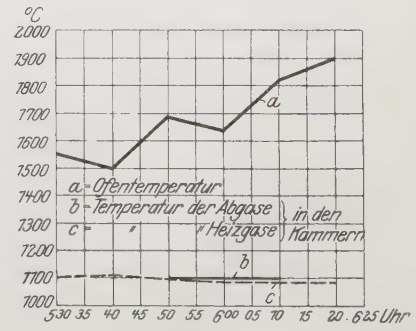

Schaubild 7.

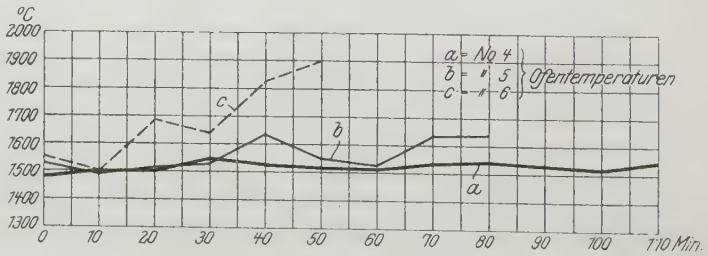

Schaubild 8.

Zahlentafel 6. Versuchscharge Nr. 4.

Zeit	Ofentemperatur	Temperatur der Heizgase in den Kammern	Temperatur der Abgase in den Kammern	Gasanalysen	Koksgas	Gichtgas	Mischgas	Abgase in den Kammern	Abgase in der Esse
	°C	°C	°C	%	%	%	%	%	%
8^{15}	1478	1180	—	CO_2	—	8,8	—	9,2	10,2
8^{25}	1494	—	1180	O	—	0,2	—	0,5	10,4
8^{35}	1494	1130	—	CO	—	31,0	—	4,8	1,6
8^{45}	1549	—	1100	H_2	—	2,1	—	—	—
8^{55}	1523	1130	—	CH_4 ...	—	—	—	—	—
9^{05}	1517	—	1130						
9^{15}	1517	1150	—						
9^{25}	1536	—	1130						
9^{35}	1542	—	1085						
9^{45}	1530	1075	—						
9^{55}	1525	—	1080						
10^{05}	1550	1100	—						

Bemerkungen: Es wurde nur mit Hochofengasen geheizt. Charge nicht beendigt. Das Hochofengas hatte durchschnittlich 1000 WE.

Zahlentafel 7. Versuchscharge Nr. 5.

Zeit	Ofentemperatur	Temperatur der Heizgase in den Kammern	Temperatur der Abgase in den Kammern	Gasanalysen	Koksgas	Gichtgas	Mischgas	Abgase in den Kammern	Abgase in der Esse
	°C	°C	°C	%	%	%	%	%	%
5^{05}	1523	1120	—	CO_2	—	—	5,8	6,4	5,8
5^{15}	1494	—	1110	O	—	—	0,6	0,2	12,0
5^{25}	1517	1120	—	CO.....	—	—	19,2	2,2	—
5^{35}	1530	1130	—	H_2	—	—	21,2	1,8	—
5^{45}	1640	—	1100	CH_4....	—	—	2,3	—	—
5^{55}	1549	1110	—						
6^{05}	1530	—	1100						
6^{15}	1640	1110	—						
6^{25}	1640	—	1110						

Bemerkungen: Versuch beendigt, da mit Rücksicht auf die Charge das Mischverhältnis geändert. Das Mischgas hatte während des Versuches durchschnittlich 1450 WE. Das Mischverhältnis war etwa: $\frac{\text{Koksgas}}{\text{Gichtgas}} = \frac{1}{6,5}$.

Zahlentafel 8. Versuchscharge Nr. 6.

Zeit	Ofentemperatur	Temperatur der Heizgase in den Kammern	Temperatur der Abgase in den Kammern	Gasanalysen	Koksgas	Gichtgas	Mischgas	Abgase in den Kammern	Abgase in der Esse
	°C	°C	°C	%	%	%	%	%	%
5^{30}	1549	—	1100	CO_2	—	—	3,0	5,2	2,4
5^{40}	1501	—	1110	O	—	—	0,2	0,4	13,2
5^{50}	1692	1100	—	CO	—	—	11,2	2,2	0,4
6^{00}	1640	—	1090	H_2	—	—	38,2	4,8	—
6^{10}	1822	1100	—	CH_4....	—	—	5.5	—	—
6^{20}	1900	—	1090						

Bemerkungen: Charge beendigt. Das Mischgas hatte durchschnittlich 2000 WE. Das Mischverhältnis: $\frac{\text{Koksgas}}{\text{Gichtgas}} = \frac{1}{3,0}$.

An der Richtigkeit der Analysen ist nicht zu zweifeln, da diese sorgfältigst ausgeführt und stets kontrolliert wurden. Der hohe Sauerstoffgehalt der Abgase an der Esse ist nichts Außergewöhnliches.

Die Versuchschargen 4, 5 und 6 (Zahlentafel 6 bis 8 und Schaubilder 5 bis 8) sind lediglich durchgeführt worden, um die Temperaturverhältnisse beim Schmelzen mit reinem Hochofengas, einem Hochofen- und Koksofengasgemisch normaler Art und mit einem Gemische von einem höheren Gehalte an Koksofengas zu ermitteln.

Heizen der Koksöfen.

Infolge des hohen Heizwertes von fraktioniert abgesaugtem Koksofengase sind in Rheinland-Westfalen verschiedene Gemeinden oder Städte dazu übergegangen, ganz oder teilweise ihren Bedarf an Leucht-, Heiz- und Kraftgas von den wirtschaftlich billiger arbeitenden Kokereien der Zechen oder Hüttenwerke zu beziehen, als das Gas in eigenen Gasanstalten sich selbst herzustellen. Um jedoch eine völlige Garantie zu haben, daß der Gasbezug selbst im Streikfalle der Bergarbeiter keine Unterbrechung erleidet, haben die Gasabnehmer den Zechen und den Hüttenwerken die Verpflichtung auferlegt, dem Gaslieferungsvertrage auch in diesem Falle uneingeschränkt nachzukommen.

Einzelne Leuchtgaserzeuger haben sich zur Aufstellung einer Wassergas- oder Generatorgas-Anlage entschlossen, um im Streikfalle wenigstens einen Teil bis zum äußersten freizugeben. Es steht auf diese Weise jederzeit im Belieben der Hüttenwerke, je nach Nachfrage für Koksofengas eine beliebige Anzahl Koksöfen mit Hochofen- oder mit Mischgas (Koksofen- und Hochofengas) zu beheizen.

Die Firma Heinrich Koppers in Essen a. d. Ruhr baut zu diesem Zwecke sogenannte Verbundöfen (s. Abb. 4), die sich im Betriebe mit einem Gase von 1000 WE bereits bewährt haben. Unter jedem Ofen befinden sich zwei Regeneratoren. Wird mit Koksofengas geheizt, so dienen sämtliche Regeneratoren zur Vorwärmung der Luft. Will man mit Hochofen- oder Generatorgas heizen, so gehen abwechselnd jedes Paar Regeneratoren unter einem Ofen entweder nur auf Luft oder auf Gas, so daß der Heizkanal eines Ofens das Gas aus dem linksliegenden

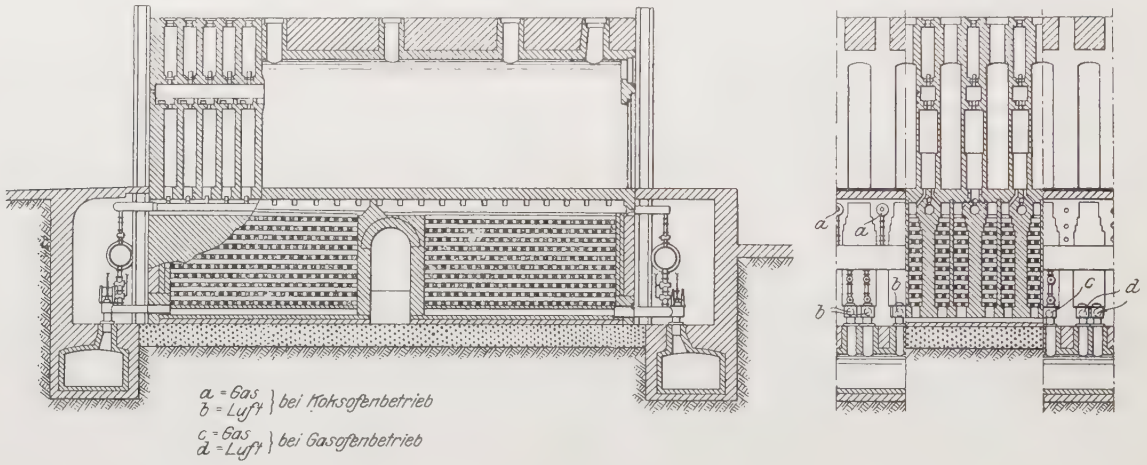

Abbildung 4. Verbundkoksofen, Bauart Koppers.

der Regenerativkoksöfen mit Kohlen vom Lagerbestande betreiben zu können und von den Oefen, die zu diesem Zwecke entsprechend gebaut sind, durch Beheizen mit Generatorgasen das hochwertige Koksofengas zur Abgabe frei zu bekommen. Das fraktioniert abgesaugte und gereinigte Koksofengas muß mindestens 5200 WE aufweisen.

Hochofenwerke mit Kokereien haben in der Regel größere Mengen Hochofenschmelzkoks gestapelt. Dieser Lagerbestand soll als Reserve dienen und es ermöglichen, über eine längere Zeit, wenn auch eingeschränkt, den Hochofenbetrieb im Streikfalle der Bergarbeiter aufrecht zu erhalten. Anderseits lagern sich die Kokereien so viel Kokskohlen, daß sie in der Lage sind, zur Erfüllung ihrer Gaslieferungsfrist wenigstens einen Teil ihrer Koksöfen zu betreiben. Die Hochofenwerke ziehen nun als Ersatzheizmittel die Hochofengase heran. Diese Gase stehen auch im regelmäßigen Betriebe häufig noch zur Verfügung und können durch ihre Ausnutzung unter Koksöfen dazu dienen, das begehrtere Koksofengas für Lieferungen an Martinöfen, Roheisenmischer usw. Regenerator, die Luft aus dem rechtsliegenden oder umgekehrt bekommt. Der Zug muß bei Beheizung mit Hochofengas oder Generatorgas für Luft sowie für Gas so eingestellt werden, daß in der Zeiteinheit dieselben Wärmemengen durch den Heizkanal gehen, wie bei der Beheizung mit Koksofengas.

Heizt man z. B. mit Koksofengas von 4250 WE, so bedarf es der fünffachen Menge an Luft für die vollständige Verbrennung. Bei Heizung mit Hochofengas ist das Verhältnis von Gas zu Luft 1:1. Durch jeden Regenerator werden für 1 cbm Koksofengas 2,5 cbm Luft durchgesaugt, dagegen müssen bei Beheizung mit Hochofengas durch einen Regenerator 5 cbm Hochofengas und durch den anderen 5 cbm Luft durchgesaugt werden.

Aus der Zeichnung (Abb. 4), die mir die Firma Heinrich Koppers zur Verfügung stellte, ist ersichtlich, wie Koksofen- oder Hochofengas (auch Generatorgas) dem Ofen zugeführt wird. Das Koksofengas geht aus der Hauptleitung, wie gewöhnlich, sofort in den Ofen durch den Verteilungskanal, das Hochofengas aus der Hauptleitung durch den Regenerator in den

Ofen. Der Heizeffekt des Hochofengases, d. h. die Heizkraft des minderwertigen Hochofengases soll dadurch vollständig zur Geltung gelangen. Beide Gaszuführungen haben Regulierhähne, mittels deren der erforderliche Gasdruck umgestellt werden kann.

Abbildung 5 bringt Längs- und Querschnitt des Koksofensystems Didier (Stettiner Chamottefabrik A. G.), ebenfalls für eine Beheizung mit Hochofengas oder Generatorgas.

Das arme Heizgas wird bei diesem Ofensystem in besonderer Einrichtung vorgewärmt, gelangt dann durch den Verteilungskanal und die mit Schieber versehenen Füchse in den Gasrekuperator, erwärmt sich hier vorteilhaft weiter und tritt nunmehr durch die Abzweigkanäle, in der Menge durch Schieber reguliert, in die Düsenkanäle und die Heizzüge.

Bei dem Regenerativofen tritt die aus einem der beiden Regeneratoren auf die Vorkammern geschaltete Verbrennungsluft durch den ebenfalls mit Schieber versehenen Fuchs in den Luftverteilungskanal und von diesem durch die Abzweigkanäle, ebenfalls in der Menge durch Schieber eingestellt, zu beiden Seiten des Gasdüsensteins in den Heizzug.

Die gebildeten Verbrennungsprodukte fallen durch die Abgaskanäle in den Untersohlkanal und durch den mit Schieber versehenen Fuchs in die Vorkammer, von welcher mittels der Reversieranlage Ueberleitung in eine der beiden Regeneratoren erfolgt.

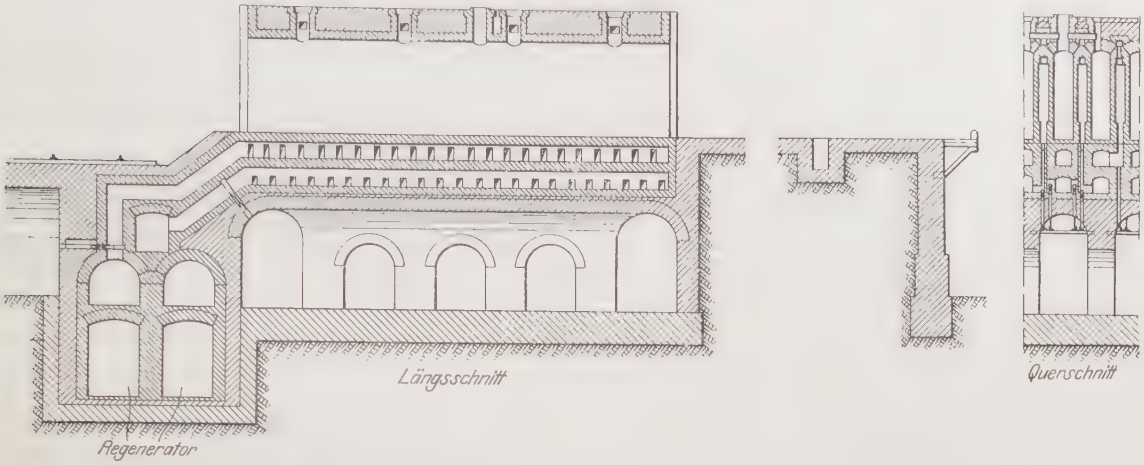

Abbildung 5. Koksofen, Bauart Didier, mit Hochofen- oder Generatorgas-Beheizung.

Die Verwendung des Hochofengases zum Trocknen in Gießereien.

Der Ausnutzung des Hochofengases in feingereinigtem Zustande zu Trockenzwecken in den Gießereien gingen praktische Versuche mit Koksofengas und dessen Mischverhältnissen mit Hochofengas sowie mit heißer Luft aus den Winderhitzern voraus. Von der Verwendung des Koksofengases und seiner Mischung mußte bald Abstand genommen werden. Der Wasserstoffgehalt des Koksofengases trocknete bei seiner Verbrennung die Formen z. B. in Röhrengießereien wohl im untersten Teile, im oberen Teile der Formen aber kondensierte der zu Wasser verbrannte Wasserstoff. Die Folge davon war, daß über eine längere Zeit sich Wasser im oberen Teile der Form ansammelte, während der untere Teil über- oder austrocknete. Der getrocknete untere Teil sprang, und der obere Teil war, als es zum Gusse gehen sollte, noch gänzlich feucht. Wer den praktischen Betrieb der Rohrgießereien kennt, weiß, wie peinlich jedes Springen oder Reißen der Formen, Spindeln und Muffen vermieden werden muß. Koksofengas als Ersatz für Generatorgas zum Trocknen von Formen in Gießereien mußte demnach ausschalten. Aus denselben Gründen mißlangen die Versuche mit Mischgasen.

Das Trocknen mit heißer Luft lieferte gute Ergebnisse, doch wird diese Art, als unwirtschaftlich, ausscheiden müssen. Mit Rücksicht auf den Wirkungsgrad der Winderhitzer und auf die Verluste, die beim Trocknen selbst entstehen, ist die Ausnutzung des Hochofengases in dieser Weise unvorteilhaft. Die Wasseraufnahmefähigkeit der heißen Luft ist, wie bekannt, sehr groß. Die Folge wird also sein, daß sich beim Durchstreichen der heißen Luft durch die feuchten Formen das Trockenmittel mit Wasser sättigt, sich dadurch stark abkühlt und, bevor die heiße Luft die zu trockende Form verläßt, am Ausgange das Wasser teilweise wieder absetzt. Die Verwendung der heißen Abgase aus Winderhitzern und Kesseln mußte gleichfalls sofort fallen gelassen werden, da diese Abgase für einen Dauerbetrieb zu ungleichmäßige Temperaturen aufweisen.

So wurde man Schritt für Schritt auf die Verwendung des wasser- und wasserstoffarmen Hochofengases hingeführt. Der erste Versuch ließ auch sofort erkennen, daß das Generatorgas mit großem Vorteile durch Gichtgas zu ersetzen ist.

Vorteile der Trocknung mit Gichtgas.

Die Vorteile der Trocknung mit fein gereinigtem Hochofengase in Gießereien aller Art liegen begründet in der außerordentlichen Bequemlichkeit und Sauberkeit, nicht zuletzt aber in der Billigkeit der Verwendung eines bislang nicht bewerteten Heizmittels, das auf Hüttenwerken mit einer Hochofenabteilung zur Verfügung steht, wenn das Gas nicht zu anderen bereits besprochenen Zwecken voll ausgenutzt werden kann. Das Trocknen in den Gießereien mit Holzkohlen, Briketts, Kohlen und Koks wird teuer und erfordert einen erheblichen Aufwand an Zeit, Mühe und Aufmerksamkeit, da eine gute und gleichmäßige Trocknung des Formstückes für das Gelingen des Gusses von größter Wichtigkeit ist. So mußte die Asche des benutzten, festen Brennstoffes aus den Formen entfernt werden, was sehr häufig eine Verletzung schwieriger und feiner Formstücke in letzter Stunde zur Folge hatte.

In Rohrgießereien hatte das Generatorgas bald die festen Brennstoffe zum Trocknen verdrängt. Dieses Gas muß zwar eigens für die Gießereien erzeugt werden, war aber doch bequemer bei seiner Verwendung als Kohle, Briketts oder Koks. Die Verschmutzungen der Rohrleitungen durch Teer, Ruß usw. sind aber auch bei Generatorgas nicht zu vermeiden. Am unangenehmsten machen sich die Verbrennungserzeugnisse der Generatorgase in einem geordneten Rohrgießereibetriebe bemerkbar, die den Aufenthalt über die Zeit des Trocknens auf den Gießbühnen dieser Betriebe zur Qual machen können. Hochofengas beseitigt auch diese Mängel.

Die Hochofengasbrenner.

Je nach Bedarf und Zweck muß das Hochofengas in besonderen Vorrichtungen zur Entzündung und Wirkung gebracht werden. Man bezeichnet diese verschiedenen Konstruktionen kurz als Brenner, die wiederum im praktischen Betriebe einzeln benannt werden.

Der Netzbrenner (s. Abb. 15, Patent Nr. 172 193/31 c) besteht aus einem fein geflochtenen

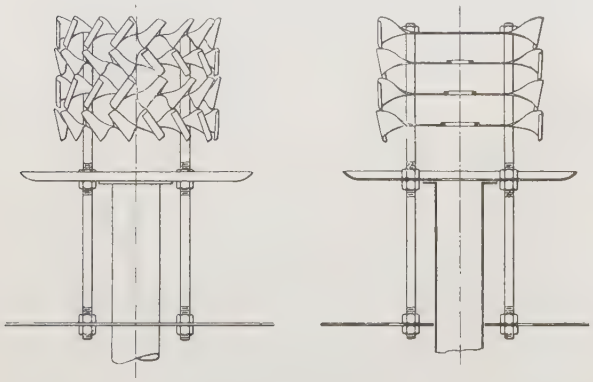

Abbildung 6. Kopfbrenner.

zylindrischen Messingdrahtgewebe, das die Gestalt eines Hutes hat. Er wird auf das Ende des Zuleitungsrohres, das zum Gegenstande, der getrocknet werden soll, führt, aufgesetzt. Die Weite des Drahtgewebes entspricht dem äußeren Durchmesser des Zuleitungsrohres. Seine Höhe beträgt 100 bis 150 mm. Das Gas verbrennt vollständig außerhalb des Drahtgewebes in einer länglichen, fächelnden Flamme. Diese Flamme eignet sich besonders zum Trocknen enger, senkrecht aufsteigender Hohlräume. Dieser Netzbrenner wird deshalb ausschließlich zum Trocknen der Formen für Röhren von 40 bis 400 mm Durchmesser verwendet. Verstopfungen des Gewebes durch Staub des Gases sind leicht durch Abbürsten zu entfernen.

Der Kopfbrenner (s. Abb. 6, 7, 16 und 17, Patent Nr. 224 431) besteht aus einem Rohraufsatze, der an das Zuleitungsrohr angeschlossen und am oberen Ende durch einen Deckel abgedeckt

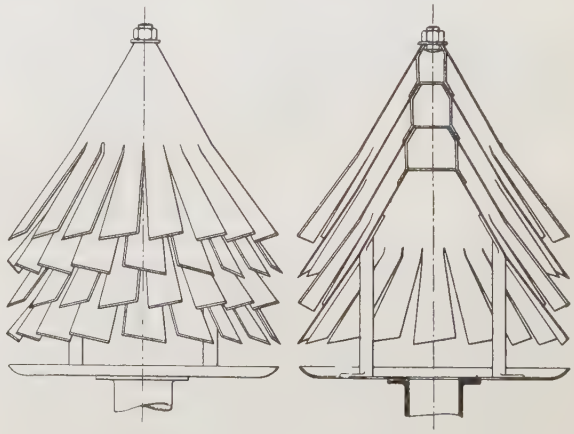

Abbildung 7. Kopfbrenner.

ist. Der Deckel, in der Mitte mit einem Loche zum Austritte des Gases versehen, reicht über die Peripherie des Zuleitungsrohres hinaus. Diese überstehende Fläche ist verschiedentlich durchlocht. Die Oeffnungen sollen zum Durchtritte der erforderlichen Verbrennungsluft dienen. Oberhalb der Brennermündung, des Deckels, sind mehrere in gewissen Abständen übereinander gesetzte Scheiben oder umgekehrte Trichter angebracht. Mit Ausnahme der obersten Scheibe oder des Trichters sind die übrigen in der Mitte mit nach oben zu immer enger werdenden Durchflußlöchern und an den Rändern abwechselnd mit rechts- oder linksgängig gewundenen,

schraubenartigen Flügeln versehen. Dieser Brenner erzeugt zum Unterschiede von Brennern mit ringförmiger Flamme eine büschelförmige Flamme, welche die Verbrennungswärme des Gases vorzüglich zur Ausnutzung bringt. Der Kopfbrenner findet, zu einer großen Anzahl auf einem wagerechten Rohrsysteme angeordnet, ausgedehnteste Verwendung zum Beheizen von Trockenkammern aller Art, zum Trocknen der Formen für Rohre von 400 bis 450 mm l. W., und in Maschinengießereien zum Trocknen senkrecht stehender zylindrisch geformter großer Formstücke. Man findet diesen Brenner in gewöhnlichen Heizöfen und unter Roheisenpfannen.

Der Haubenbrenner (s. Abb. 8 und 18, patentiert), ein Kopfbrenner, findet dieselbe Verwendung wie dieser. Die Konstruktion zeigt Zeichnung 8. Es sitzen vier Hauben in bestimmten Abständen übereinander und zwingen das Gas- und Luftgemisch, nach unten zu zerstäuben und in einer

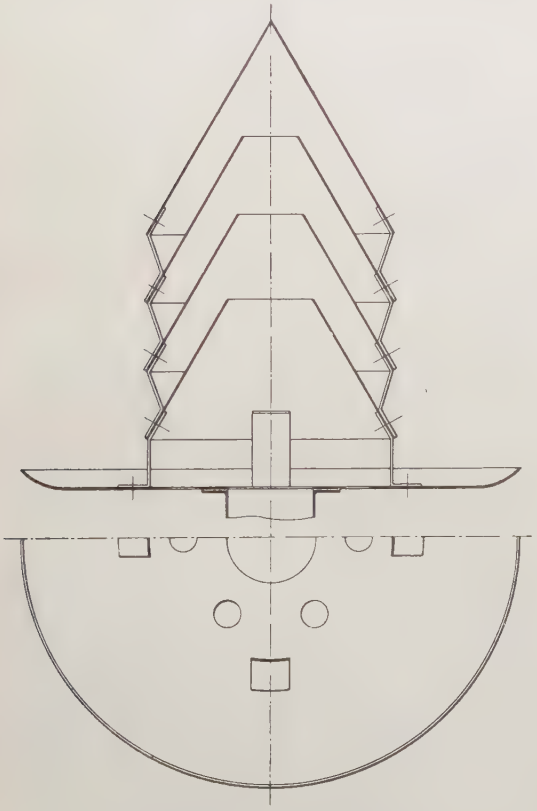

Abbildung 8. Haubenbrenner.

weit ausladenden Flamme zu verbrennen. Die Durchlässe für Gas und Luft werden, wie bei dem Kopfbrenner, von Haube zu Haube nach oben enger. Die untere Platte ist zum Ansaugen der Luft durchlocht.

Der Stufenbrenner (s. Abb. 9 und 19, patentiert) ist im Grunde ein Hauben- oder Kopfbrenner. Er besteht aus parallel übereinanderliegenden horizontal angeordneten, durchlochten Flächen. Die Fläche und die in der Mitte angeordneten Bohrungen verjüngen sich von Stufe zu Stufe nach oben. Die oberste Platte ist nicht durchlocht, sie dient als Abschluß. Der Brenner hat in der Praxis meines Wissens wenig Verwendung gefunden. Ist der Gasdruck nicht ein äußerst regelmäßiger und hoher, so liegt die Gefahr des Erlöschens

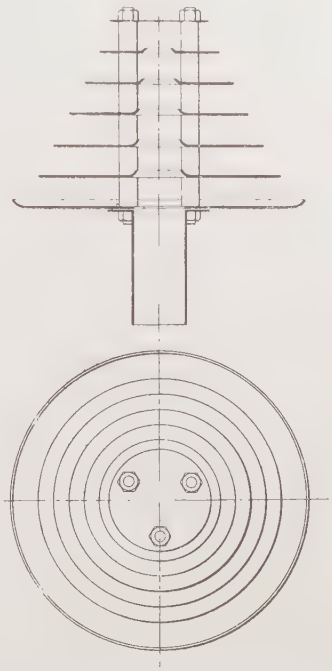

Abbildung 9. Stufenbrenner.

sehr nahe. Die Verbrennung des Gases ist zwar vollständig, die Flammenentfaltung jedoch gering.

Der Plattenbrenner (s. Abb. 10 und 20, Patent angemeldet) dient lediglich zum Trocknen der Formen für Rohre von 600 bis 1200 mm l. W. Er besteht aus einem Brennerkopf, einer Verschlußplatte und den Anschlußstutzen. Die Gase können aus diesem Brenner nur seitlich entweichen, sie sind gezwungen, in einer weiten zylindrischen Flamme zu verbrennen. Durch die Verschlußplatte wird der Formkasten abgeschlossen und das Zutreten einer zu reichlichen Luftmenge verhindert. Die Verbrennungsluft wird angesaugt durch eine Anzahl von Löchern, die der Gasmenge entsprechend in die Verschlußplatte unterhalb des Brennerkopfes gestoßen sind. Um eine wirtschaftliche Ausnutzung der Gase zu gewährleisten, dürfen diese Löcher nicht allzu reichlich bemessen werden. Der Gasanschlußstutzen ist je nach Leistung des Brenners im Verhältnis zum Durchmesser der zu trocknenden Rohrform enger oder weiter gewählt.

Der Büschelbrenner (s. Abb. 11 und 21, Patent angemeldet). Das an seinem Auslaufe durchlochte Rohr umgibt ein verschiebbarer Mantel, mittels dessen die Verbrennungsluft zu regeln ist. Auf dem Ende des durchlochten Rohres liegt ein

durchlochter Deckel. Der zweite Deckel ist nur einmal in der Mitte durchlocht und soll den letzten Rest des unverbrannten Gases durchlassen. Der obere, nicht durchlochte Deckel dient lediglich als Verteiler und Zerstäuber der Flamme. Während die Kopf-, Kegel- und Haubenbrenner eine zylindrische, tellerförmige Flamme erzeugen, bildet dieser Brenner eine rein büschelförmige Flamme, die nur zu besonderen Zwecken vereinzelt Verwendung findet.

Der Fackelbrenner (s. Abb. 22). Dieser Brenner, aus einem schmiedeisernen Rohre herge-

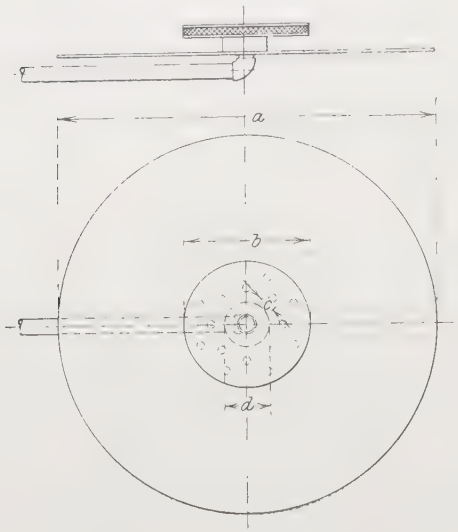

Abbildung 10. Plattenbrenner.

Rohr ⌀ mm	a mm	b mm	c mm	d mm
1200—1000	1700	800	80	150—250
900	1700	800	80	150—250
800	1500	700	80	150—250
700	1400	600	80	150—250
600	1200	400	50	150—250

stellt, ist allenthalben mit einem feinen Drahtgewebe — wie bei dem nachfolgenden Strumpfbrenner — umsponnen. Er ist mit einem Gewinde versehen, damit er an jedes Anschlußrohr geschraubt werden kann. Die Anschlußrohre sind verschieden in Länge und Form. Es bestehen eine Anzahl gerader Paßrohre, an welche die verschieden geformten Endstücke angeschraubt werden. Diese Endstücke sind mehr oder weniger gebogen, um an jede beliebige Stelle der zu trocknenden Form gelangen zu können. Am Ende dieses Rohrstutzens wird die Fackel angeschraubt. Der Fackelbrenner wird auch bei besonders verwickelten Formen an die später zu beschreibenden Feuerwehrschläuche, die selbstverständlich am Ende zu schützen sind, unmittelbar angeschlossen. Der größte Vorzug dieses Brenners besteht darin, daß man mit ihm an jede Stelle, auch in den kleinsten Winkel der verwickeltsten Formstücke gelangen kann.

Der Langbrenner (s. Abb. 12, 23 und 24, Patent angemeldet). Das Gas prallt bei seinem Austritte aus dem Zuleitungsrohre gegen einen Kugelabschnitt. Diese Kuppe zwingt das Gas, seine Richtung zu ändern und sich gleichmäßig teller-

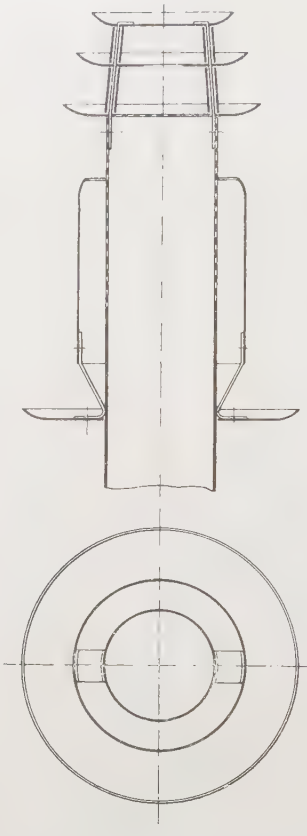

Abbildung 11. Büschelbrenner.

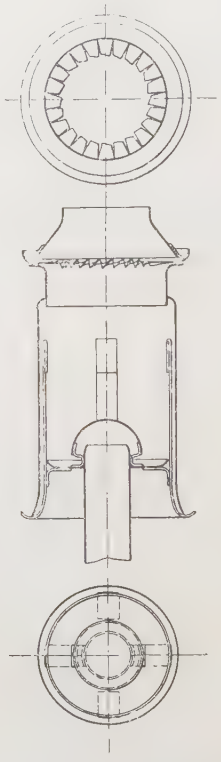

Abbildung 12. Langbrenner.

förmig auf der Platte auszubreiten. Der eigentliche Brenner (s. Abb. 24) ist mit einem verstellbaren Mantel umgeben, der von dem Teller zur Luftansaugung etwas absteht. Gas und Luft mischt sich innerhalb des Mantelraumes. Am oberen Ende des offenen Mantels sitzt ein ebenfalls verschiebbarer, zylindrischer Aufsatz, der sich oben tellerförmig er-

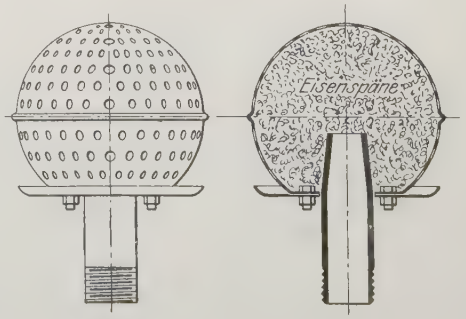

Abbildung 13. Kugelbrenner.

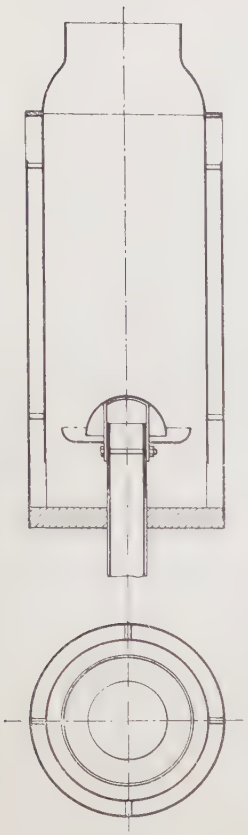

Abb. 14. Heißluftbrenner.

weitert. Nach dem Inneren ist der Teller wehenartig ausgebildet und auf einen bestimmten Durchmesser ausgestanzt. Das Gas- und Luftgemisch kommt durch diese Wehen in wirbelnde Bewegung. Ueber diesen Wehen oder auf dem Teller sitzt ein offener Kegel, der einen Spielraum zur sekundären Luftansaugung zwischen dem Teller frei läßt. Die innige Mischung von Gas und Luft wird durch diesen Kegel gezwungen, in einer 1 bis 1,5 m langen Flamme zu verbrennen. Wird der Aufsatz abgenommen, so verbrennt das Gas büschelartig (s. Abb. 24). Es muß bemerkt werden, daß bei beiden Aufnahmen (s. Abb. 23 und 24) der Gasdruck und die Gasmenge dieselben waren.

Der Kugelbrenner (s. Abb. 13 und 25, Patent angemeldet) besteht aus einer auf ihrer ganzen Oberfläche durchlochten Kugel, die mit Drehspänen gefüllt ist. Das Gaszuleitungsrohr ragt in die Kugel hinein und ist, wie aus Abb. 13 ersichtlich, auf seinem ganzen Umfange eingeschnitten.

Die Drehspäne sichern eine große gleichmäßige Zerstäubung des Gases. Die Verbrennung des Gases (s. Abb. 25) erfolgt unter überaus günstiger Flammenentfaltung.

Der Heißluftbrenner (s. Abb. 14 und 26, Patent angemeldet). Die zur Verbrennung des Gases erforderliche Luft wird vorgewärmt. Der Eintritt des Gichtgases in einem zylindrischen Raum, der sich nach oben etwas verjüngt, erfolgt wie beim Langbrenner. Die Luft wird durch einen zweiten Zylinder, der den Verbrennungszylinder umschließt, angesaugt und zugleich erwärmt. Ein Teil der Gas- und Luftmenge kommt bereits im Verbrennungsyzlinder zur Entflammung und erwärmt denselben. Dieser Brenner kann zum Heizen von Zimmeröfen verwendet werden. Ein besonderer Vorzug des Brenners ist, daß die Flamme sehr regelmäßig und das Gas vollständig verbrennt.

Anschlußverbindungen.

Sitzen die Brenner nicht unmittelbar auf festliegenden Gasleitungen auf, oder ist ihr Aktionsradius ein nicht bestimmter, ein für allemal festgelegter, wie z. B. im ersteren Falle in Trockenkammern, im zweiten Falle in Rohrgießereien, bei dem die Rohrformen um eine Achse gedreht werden, so muß eine leicht auswechselbare Verbindung mit der festliegenden Gaszuleitung geschaffen werden, und zwar so, daß die Bewegungsfreiheit in der Gießhalle nicht gestört wird. Zu diesem Zwecke dienen Schläuche von verschiedenem Durchmesser, die aus Ballonstoff hergestellt sind, oder sogenannte Feuerwehrschläuche. Die Ballonschläuche werden mit ihren Enden über Brennerstutzen und Anschlußrohr gezogen und in einfachster Weise mit Bindfaden befestigt. Die Feuerwehrschläuche haben die bekannte Kupplung an beiden Stellen. Die Ballonschläuche sind in ihrer Anschaffung billiger als die Feuerwehrschläuche; sie lassen sich bequemer, wenn unbenutzt, unterbringen. Ihr Hauptvorteil ist der, daß sie eine plötzliche Unterbrechung der Gaszufuhr, ebenso wie die Wiederkehr leicht erkennen lassen. Der Ballonstoff fällt zusammen oder wird sofort wieder prall. Wegen ihres geringen Gewichtes und ihrer glatten biegsamen Oberfläche können diese Schläuche, ohne Schaden anzurichten, auf fertigbearbeitete Formen und Formflächen gelegt werden, wenn eine Stelle getrocknet werden soll, die weit vom Rande der Form oder vom Anschlußstutzen in der Mitte der Gießerei gelegen ist. Ihr Nachteil liegt in der geringeren Dichtigkeit des Ballonstoffes und besonders der einfach verschnürten Anschlußstellen. Der Ballonstoff hat geringe Widerstandsfähigkeit und muß, wenn er groben Händen zur selbständigen Benutzung überlassen bleibt, häufig erneuert werden.

Die Feuerwehrschläuche sind ausgezeichnet haltbar, dicht und lassen sich sicher, leicht und schnell anschließen. Sie sind sehr teuer und sehr schwer. Durch ihre Starrheit lassen sie sich nicht überall, ohne Verletzungen empfindlicher Formen befürchten zu müssen, verwenden. Druckschwankungen des Gases lassen sich nicht prüfen.

* * *

Mit den beschriebenen Brennern und Anschlußverbindungen ist ihre Anzahl nicht erschöpft. Es wird noch verschiedene Wege geben, das Gas zweckentsprechend durch besondere Vorrichtungen auszunutzen.

Die Ausnutzung des Gases in den Gießereien.

Röhrengießereien.

Wir finden in Röhrengießereien zunächst Trockenkammern, die zum Trocknen der Rohrspindelkerne dienen (s. Abb. 28). Zu jeder sogenannten Partie, d. h. einer Arbeitskolonne an einem Drehgestelle, gehört eine Kerntrockenkammer. Diese sind entsprechend den Abmessungen der zu gießenden Rohre gebaut. Auf dem Boden einer jeden Kammer laufen Gasverteilungsrohre, auf denen die Kopf- oder die Haubenbrenner in gewissen Abständen aufgesetzt sind. Die Zuleitung zu diesen Verteilungsröhren schließt sich an die Hauptreingasleitung an; durch einen Schieber kann jede Kammer für sich abgesperrt oder die Flamme reguliert werden. Je nach der zur Trocknung erforderlichen Temperatur wird die Flamme stark oder schwach gestellt. Das Trocknen der Kerne erfolgt in drei Stufen: nach dem Wischen, nach dem Volldrehen, nach dem Schwärzen. Während dieser Trocknungszeiten sind die Brenner auf ganze Leistung und volle Flammenentfaltung eingestellt. Die Trockenkammern für die Muffenkerne weisen dieselben Einrichtungen, wie die eben beschriebenen, auf.

Bei zehn vollen Arbeitstunden stehen für einen Guß und jede Arbeitskolonne zwei Arbeitstunden durchschnittlich zur Verfügung. Während dieser Zeit müssen die Spindeln und Rohre gezogen, die Kasten ausgeleert, die Formen hochgestampft, getrocknet und die getrockneten Rohr- und Muffenkerne eingesetzt, sowie die Rohre selbst abgegossen werden. Das Hauptgewicht ist deshalb auf die rasche und gute Austrocknung der Formkasten zu legen. Diese Trocknung hat also schon zu erfolgen, solange noch Kasten hochgestampft werden, und gerade bei dieser Ausnutzung macht sich das rauch- und geruchlos verbrennende, feingereinigte, wasserstoffarme Hochofengichtgas außerordentlich günstig bemerkbar. Die Stampfer oder die Bedienung an der Stampfmaschine sowie die Arbeiter auf der Gießbühne der Röhrengießerei werden in keiner Weise durch diese Trocknung behindert. Das Hochofengas trocknet die sorgfältig bis auf die Eingußschnauze abgedeckte Rohrform sehr rasch und vor allem gleichmäßig. Infolgedessen braucht die Form nicht durchgetrocknet zu werden. Wie weit diese Trocknung bei jedem einzelnen Rohrdurchmesser durchgeführt werden muß, beruht auf Erfahrung. Aber auch in diesem Vorteile liegt eine Steigerung der Erzeugung begründet, die der Gichtgastrocknung allein zuzuschreiben ist.

Unter jeder Trommel (s. Abb. 29) befindet sich eine Anzahl Brennerrohre, die auf einem Gasverteilungsrohre sitzen. Dieses Verteilungsrohr hat die Gestalt eines Kreissegmentes, entsprechend dem Trommeldurchmesser, auf ihm sitzen in einem Gelenke beweglich die Brennerrohre, auf diesen die eigentlichen Brenner, und zwar die Netzbrenner. Die Bedienung der Brenner erfolgt durch den Mann, der auch die Muffenkerne einsetzt und die Arbeiten unter der Trommel verrichtet. Da bei dieser Brennereinrichtung nur alle Flammen gleichzeitig brennen können, werden die Flammen erst entzündet, wenn vier oder fünf Formen hochgestampft sind. Auch lassen sich diejenigen Brennerrohre, welche überflüssig sind, auf einfachste und zugleich sicherste Weise mit einem gewöhnlichen Holzstopfen verschließen. Beim weiterem Stampfen der Formen bewegt sich jede Form der Reihe nach über die einzelnen Brenner so, daß bei der einmaligen Formperiode jede Form eine gewisse Zeit unter Feuer steht. Diese Trockenzeit richtet sich nach dem Durchmesser oder der Größe der zu trocknenden Form. Durch die bereits betonte Abdeckung der Kasten wird die Wärme möglichst ausgenutzt und der Zug in der Form verringert.

Nach dem Reinigen der Rohre von Formsand, dem Abdrehen und Abpressen wandern die Rohre in den Teerofen. Damit der dünnflüssige Teer gut haftet, müssen die Rohre vor dem Eintauchen erhitzt werden (s. Abb. 30). Die Brenneranordnung gleicht hier der Anordnung in den Trockenkammern.

Die Austrocknung und Erwärmung der kleinen Roheisenpfannen erfolgt gleichfalls mit Hochofengas. Die Pfannen werden etwa 60 bis 80 Minuten über einen Kopfbrenner gestülpt. Die Ausschmierung der Pfanne reicht für fünf Güsse aus, es muß demnach nach jedem Gusse nur die Ausgußschnauze neu hergerichtet und getrocknet werden. Diese letztere Trocknung erfolgt von oben.

Zum Beheizen und Trocknen der Rohrformen über 350 mm Durchmesser reichen die Netzbrenner nicht mehr aus. Man benutzt deshalb hier Brenner mit mehr oder weniger weit ausladender Flamme. Bis zu einem Durchmesser von 550 mm bedient man sich der Kopfbrenner (s. Abb. 16, 17 und 31). Diese Kopfbrenner sind auf einem Dreibein befestigt, können bequem transportiert und höher oder tiefer eingestellt werden (s. Abb. 31). Die Platte, die unter dem Brenner angeordnet ist, gestattet die Regulierung der Verbrennungsluftzuführung durch vorgesehene Oeffnungen. Sie schließt möglichst dicht an den Formkasten an und wird, wenn nötig, mit Lehm abgedichtet. Bei freier Anordnung dieser Brenner zur Trocknung größerer Rohre würde die zu reichlich mitgesaugte Luft einen zylindrischen Mantel zwischen Form und Säule des verbrannten Gichtgases bilden. Die Hitze würde, unausgenutzt, zu rasch nach oben geführt, eine ganz ungleichmäßige, und eine unwirtschaftliche Trocknung die Folge sein. Zur Verminderung des Zuges deckt man auch hier die Formkasten während der Trocknungsperiode ab, die bei einemMuffenrohre genannter Abmessungen etwa zwei Stunden, bei einem Flanschenrohre, das einen größeren Formkasten und mehr Sand zum Stampfen erfordert, etwa vier Stunden erfordert.

Zum Trocknen der Rohre über 600 mm Durchmesser wird nur der Plattenbrenner (s. Abb. 20, 32

und 33) benutzt. Die Abmessungen richten sich nach dem Durchmesser der zu trocknenden Form (s. Abb. 10). Dem Netze des Brenners entströmt auf dem ganzen Umfange das Gas gleichmäßig (s. Abb. 32) und verbrennt so, daß die Flamme nach den Innenwänden der Form geführt wird. Die Trocknung mit diesen Brennern erfordert selbst bei größten Rohrweiten und normalem Gasdrucke nur 1 und $1^1/_2$ Stunden, eingerechnet das Nachtrocknen nach dem Schwärzen der Form. Auf ein gutes Schließen der Abschlußplatte des Brenners ist die größte Sorgfalt zu verwenden, um jeden überschüssigen Luftzutritt zu vermeiden (s. Abb. 33); zur Ausnutzung der Verbrennungstemperatur werden die Formen selbstredend auch hier abgedeckt.

Abb. 32 und 33 zeigen das Trocknen eines 1200-mm-Rohres. Bei Abb. 32 ist der in Brand gesteckte Brenner herabgelassen, lediglich um die zylindrische Flamme und ihre Größe zu veranschaulichen. Abb. 33 bietet die richtige Anordnung des Brenners, bei dem sämtliche Oeffnungen dicht mit Lehm zu verschmieren sind. Die Verbrennungsluft kann nur durch die in die Platte des Brenners gestoßenen Oeffnungen zutreten. Für die größeren Rohrkerne sind Trockenkammern mit bedeutenderen Abmessungen und einer größeren Anzahl von Kopfbrennern im Betriebe. Der Bau dieser Kammern kommt den beschriebenen gleich. Bei der Muffenkerntrocknung ist nichts zu erinnern.

Die Pfannentrocknung ergibt sich aus Abb. 44 und 45. Es werden Fackel- oder Kopfbrenner in die stehende Pfanne eingeführt. Besonders deutlich ist auf Abb. 44 die Verwendung eines Ballonstoffanschlusses ersichtlich.

* * *

Briketts, Koks oder Generatorkohlen sind vollständig verdrängt, zugleich eine nicht unerhebliche Steigerung der Erzeugung und Verminderung der Arbeitskräfte erzielt. Durch vorzügliche Trocknung der Rohrformen und Rohrkerne wird das Ausbringen an guter Ware außerordentlich gesteigert. Die vorzügliche zweckentsprechende Trocknung ist die Folge des wasserstoffarmen und des wasserarmen Heizmittels, des nahezu reinen Kohlenoxydes.

Sand- und Lehmformerei.

In den Trockenkammern der Sand- und Lehmformerei finden die Kopfbrenner Verwendung. Diese sind hier zum Unterschiede von den Trockenkammern der Rohrgießereien längs der Wände untergebracht (s. Abb. 34). Durch diese Anordnung können die Kammern während der Tagschichten als Arbeitsraum benutzt werden. Ein Transport der schweren Formstücke wird dadurch umgangen. Bei Nacht werden die eisernen Fenster und Türen geschlossen, der Raum wird zwei, auch drei Stunden vor Beginn des Tagschicht wieder geöffnet. Die Kernstücke werden also während ihrer Fertigstellung über Nacht andauernd getrocknet. Größere Stücke, wie Gebläsezylinder, werden auch außerhalb der Trockenkammern fertiggestellt und während der ganzen Herstellungszeit mit einer Vereinigung von Kopfbrennern von innen heraus beheizt (s. Abb. 27, die eine ganz einfache Art der Vereinigung darstellt, und Abb. 43). Nach beendigtem Aufbau des Stückes und nach dem Schwärzen erfordert die Trocknung nochmals eine bestimmte Zeit während der Nacht.

In Trockenkammern der Façongießereien finden Kopfbrenner Anwendung. Diese Brenner sind ständig bei Tag klein, bei Nacht stark gestellt. Die Strumpf- und Fackelbrenner finden ausgiebigste Verwendung in der Sandformerei. Der Fackelbrenner ersetzt den Strumpfbrenner bei kleineren Stücken und da, wohin man mit den Strumpfbrennern ohne Beschädigung der Formen nicht gelangen kann.

Abbildungen 35 bis 43 zeigen die Verwertung von Strumpfbrennern. Je nach der Größe der Formen werden ein oder mehrere Brenner entsprechend der Länge des Kastens aufgelegt und zur besseren Ausnutzung der Flammen mit Blechen abgedeckt (s. Abb. 37). Bei den übrigen Lichtbildern ist die Abdeckung zwecks photographischer Aufnahme entfernt.

In Unterformen werden die Strumpfbrenner mit den verschiedensten Anschlußverbindungen hineingelegt, wenn es die Tiefe der Form zuläßt, andernfalls werden, wie aus Abb. 40 ersichtlich, die Brenner hineingehangen, und zwar je nach der Tiefe der Form, oder je nach rasch oder langsam zu erfolgender Trocknung, in ein- oder mehrfacher Anordnung. Der Verschiedenartigkeit und Größe der Formen folgend, werden die Strumpfbrenner gestaltet. In welcher Weise dies geschehen kann, sollen die verschiedenen Aufnahmen erklären.

Einen eigenartigen Brenner weisen die Abb. 42 und 43 auf. Diese Strumpfbrenner sind nicht geschlossen im Ringe, um an allen Stellen gleichen Druck des Gases und gleiche Flammenentfaltung zu bewirken. Die Lichtbilder sollen dartun, daß bei größeren Querschnitten auch die Strumpfbrenner in der Lehmformerei die Kopfbrenner und ihre Vereinigungen ersetzen. Der Hohlraum des Formstückes (Abb. 42) wird durch einen Fackelbrenner getrocknet. Der Brenner ragt von oben in das Formstück hinein — man beachte den Widerschein der Flamme am Brennerrohre —. Bei Abb. 43 geht das betreffende Formstück, ein Gebläsezylinderdeckel, seiner Vollendung entgegen. Der obere Teil ist aufgesetzt und wird mit einer Vereinigung von Kopfbrennern ausgetrocknet.

Das Trocknen der Form eines Gasmaschinenrahmens ist auf Abb. 39 ersichtlich. Zu beiden Seiten liegt je ein etwa 6 m langer Strumpfbrenner

von 120 mm l. W. Diese Teile werden während einer Nacht getrocknet. Im weiteren Verlaufe des Einbaues der Kernstücke werden die anderen Stellen der Form mit entsprechend geformten Strumpf- oder Fackelbrennern des Nachts durchgetrocknet.

Allgemeinere Verwendungszweige der Gichtgase.

Zum Trocknen von kleinen Handkernen, wie man sie für Hakenplatten benötigt, dienen kleine Trockenöfen. Diese Oefen (Abb. 47) sind unauffällig und ohne Platzverschwendung in die Ecken und in die Nähe der einzelnen Arbeitstätten gesetzt.

Eine Verwendungsmöglichkeit der Strumpfbrenner in der Stahlformgießerei weist Abb. 41 auf. Es stellt die Trocknung der Abstichrinne des Martinofens dar. Im Stahlwerke können die größten wie die kleinsten Pfannen (Abb. 45) mit Hochofengas getrocknet werden. Es ist hierbei zu betonen, daß die Trocknung mit umgestülpten Pfannen erfolgt. Die großen Pfannen werden mit einer Vereinigung von Kopfbrennern ausgetrocknet. Abb. 45 läßt deutlich erkennen, daß jede einzelne Feuerung für sich abzustellen ist.

Das Austrocknen eines neu hergerichteten Kupolofens zeigt Abb. 46. Es genügt zu dieser Trocknung die Flamme eines Kopfbrenners, wie er zur Trocknung von 400-mm-Rohren benutzt wird. Der Brenner hat in zwei bis drei Stunden seine Aufgabe erfüllt.

Die Abbildungen 48, 49 und 50 stellen Oefen zum Beheizen von Fabrikräumen dar. Abb. 49 soll lediglich einen aus einem Flanschenwrackrohre hergestellten Ofen, der im Freien aufgestellt ist, vorführen. Die Verbrennungsluft des Ofens, Lichtbild 33, wird von oben angesaugt und im Innern des Mantels nach unten geführt und vorgewärmt. Zur Erzeugung von warmem Wasser dient der Badeofen (Abb. 51). Den Arbeitern wird selbst der Kaffee mit Hochofengasen gekocht.

* * *

Zum Schlusse möge kurz noch darauf hingewiesen werden, daß das Hochofengas auch zu Leuchtzwecken benutzt werden kann. In meiner Gegenwart sind mehrere Versuche ausgeführt worden, die das Verbrennen des Gases in Glühstrümpfen bezweckten. Die Ergebnisse waren günstig, doch sind die Versuche noch nicht abgeschlossen.

Das Parfümieren des Gases.

Kurze Zeit nach der Durchführung der Trocknung in den Gießereien mit fein gereinigtem Hochofengase stellte sich eine Schwierigkeit ein, die zuerst beseitigt werden mußte. Es ist in der Praxis nicht immer möglich, vollkommene Dichtigkeit der Gasleitungen oder ein tadelloses Schließen der vielen erforderlichen größeren Ventile und Hähne zu erreichen, und, ganz abgesehen von der Unachtsamkeit ungeschulter und nachlässiger Arbeitskräfte, traten bald Vergiftungserscheinungen auf, die jeder Hochöfner kennt. Das fein gereinigte Gichtgas wirkt betäubender als Rohgas. Der Grund liegt in der starken Anreicherung der einzuatmenden Luft an Kohlensäure und vor allem an Kohlenoxyd. Letzteres verhindert die Oxydation des im Blute enthaltenen Hämoglobins, verursacht zunächst Ohnmachtsanfälle, die bei längerem Einatmen häufig den Tod zur Folge haben. Da nun das gereinigte Gas farb- und geruchlos und den Sinnen des Menschen, mit nur wenigen Ausnahmen, nicht wahrnehmbar ist, so mußte zuallererst diesem Uebelstande abgeholfen werden.

Dem Hochofengase mußte ein spezifischer Geruch anhaften. Durch das Auftreten dieses Geruches sollten Beamte wie Arbeiter die Anwesenheit des gefährlichen Gases sofort erkennen und, indem man dem Geruche nachging, sollten Undichtigkeiten in der Leitung schnell aufgefunden und beseitigt werden.

Eine große chemische Fabrik riet zu Präparaten, durch deren tropfenweisen Zusatz in die Leitung das Gas — im negativen Sinne des Wortes — parfümiert werden sollte. Diese verschiedenen Präparate waren gut, erwiesen sich indes als viel zu teuer zur dauernden Verwendung bei den großen Gasmengen, die stündlich verbraucht wurden.

Ein weiterer Versuch bestand darin, dem Hochofengase ständig Koksofen- oder Leuchtgas zuzuführen, um ihm den bekannten, charakteristischen Geruch zu verleihen. Dieses Verfahren erfüllte seinen Zweck bei genügendem Zusatze, hatte aber zwei Nachteile. Es ist zu teuer und wirkt bei größerem Zusatze in der bereits erwähnten Weise ungünstig beim Trocknen von Rohrformen. Leuchtgas wird deshalb (auf einem Werke) nur zugesetzt, wenn das Gas überflüssig und ins Freie nutzlos gelassen werden mußte.

Am geeignetsten erwies sich zur Erreichung des beabsichtigten Zweckes bis heute Kalziumkarbid. Kurz vor den einzelnen Verbrauch-

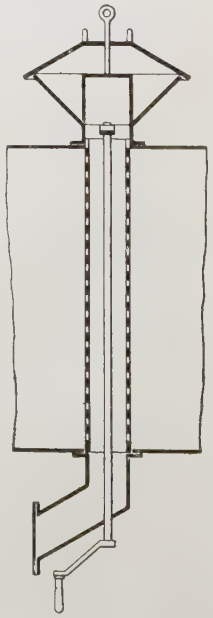

Abbildung 52.
Gitterkorb,

stellen werden in die Hochofengasleitungen Gitterkörbe eingebaut (s. Abb. 52), die, ohne daß Gas entweicht, leicht ausgewechselt oder nachgesehen werden können. Diese Körbe werden mit Kalziumkarbid von bestimmter Körnung (20 bis 30 mm) gefüllt. Das durchstreichende Gas umspült die Karbidstücke, welche ihrerseits begierig die Feuchtigkeit des Gases aufnehmen und so Azetylen bilden. Dieses Azetylen mischt sich mit dem Gase und verleiht ihm seinen durchdringenden Geruch. Es verbindet dabei noch den besonderen Vorteil, daß es den Heizwert des Hochofengases in unschädlicher Weise für die mit ihm beabsichtigte Trocknung der Rohrformen erhöht und das gereinigte Gas wasserärmer macht. Dadurch vermindern sich die an und für sich sehr mäßigen Kosten des Kalziumkarbids. Das Karbid erleidet durch den verhältnismäßig geringen Feuchtigkeitsgehalt des Hochofengases eine langsame Zersetzung. Das gebildete Kalziumoxyd (Kalk) muß von Zeit zu Zeit durch Schütteln von dem noch vorhandenen Karbid entfernt werden. Das Kalziumoxyd würde sonst krustenartig sich ansetzen und den Zutritt des Gases zum Karbide verhindern.

* * *

Die Anregung für diese Arbeit verdanke ich Hrn. Professor Oskar Simmersbach in Breslau, und ihre Durchführung Hrn. Hüttendirektor Adolf Wirtz, der auf der Friedrich-Wilhelmshütte zu Mülheim a. d. Ruhr die Verwendung des gereinigten Hochofengases als alleiniges Trockenmittel in den Maschinengießereien, der Sand- und Lehmformerei, einführte und den praktischen Beweis erbrachte dafür, daß Hochofengas und Koksofengas, auch als Mischgas, als alleiniges Heizmittel für Martinöfen zu verwenden ist. Hr. Wirtz griff auch den bereits früher ausgesprochenen Gedanken, Hochofengas zur Beheizung von Koksöfen zu benutzen, wieder auf und brachte ihn als Erster zur Verwirklichung.

Besonderen Dank schulde ich Hrn. Dipl.-Ing. Carl Ellingen, der, meinen Weisungen folgend, Material für diese Arbeit zusammenstellte und die photographischen Aufnahmen selbständig ausführte.

Literatur.

1. Beck, Dr. Ludwig, Die Geschichte des Eisens. 5 Bände. Braunschweig 1890—1903.
2. „Stahl und Eisen". Zeitschrift für das deutsche Eisenhüttenwesen. Düsseldorf 1881 ff.
3. Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure. Berlin 1857 ff.
4. „Glückauf". Berg- und Hüttenmännische Zeitschrift. Essen 1865 ff.
5. Ledebur, A., Handbuch der Eisenhüttenkunde. 5. Auflage. 3 Bände. Leipzig 1906—1908.
6. Wedding, Dr. Hermann, Ausführliches Handbuch der Eisenhüttenkunde. 4 Bände. Band 4 nicht abgeschlossen. Braunschweig 1891 ff.
7. Fischer, Dr. Ferd., Kraftgas. Leipzig 1911.
8. Jüptner v. Jonstorff, Hans Frh. von, und Frdr. Toldt, Chemisch-colorische Untersuchungen über Generatoren und Martinöfen. 2. Aufl. Leipzig 1900.

9 a. Winkler, Clemens, Praktische Uebungen in der Maßanalyse. 4. Aufl. Bearbeitet von Dr. Otto Brunck. Leipzig 1910.

9 b. Winkler, Clemens, Lehrbuch der technischen Gasanalyse. 3. Aufl. Leipzig 1901.

10. Schenk, Rudolf, Physikalische Chemie der Metalle. Sechs Vorträge über die wissenschaftlichen Grundlagen der Metallurgie. Halle a. S. 1909.

Lebenslauf des Verfassers.

Ich, Rudolf B u c k , wurde geboren am 19. März 1876 in Göppingen (Württemberg) und habe das Realgymnasium zu Ravensburg (Württemberg) bis zum Ausweis der Berechtigung zum einjährig-freiwilligen Militärdienst besucht. Das Zeugnis der Reife zum Hochschulstudium erwarb ich mir auf der Friedrich-Eugens-Oberrealschule in Stuttgart. Im Jahre 1895 trat ich als Einjährig-Freiwilliger im 1. bayerischen Fuß-Artillerie-Regiment zu Neu-Ulm ein und verunglückte während der Scharfschießübungen im Lager Lechfeld bei Augsburg durch frühzeitige Entladung einer Feldhaubitze. Die Heilung der erlittenen Schußverletzungen nahm ein volles Jahr in Anspruch. Ich blieb dauernd feld- und garnisondienstuntauglich. Nach meiner Entlassung aus dem Militärverhältnis hörte ich zunächst während $1^1/_2$ Semestern auf der Technischen Hochschule zu Stuttgart allgemein bildende Vorlesungen. Im Jahre 1897 bezog ich die Bergakademie zu Freiberg i. Sachsen und erledigte Ende 1901 mit Erfolg die Prüfung als diplomierter Eisenhütten-Ingenieur. Die dazu gehörige schriftliche Arbeit verfertigte ich auf dem Hüttenwerke Kramatorskaja (Südrußland). In der folgenden Zeit war ich als Chemiker und Hochofenassistent tätig auf der Niederrheinischen Hütte zu Duisburg-Hochfeld, Eisen- und Stahlwerk Union zu Dortmund, Mathildenhütte zu Bad Harzburg und Henrichshütte zu Hattingen a. d. Ruhr. Vor meinem Eintritte als Hochofenbetriebsleiter in Mülheim a. d. Ruhr suchte ich meine Kenntnisse durch den Besuch oberschlesischer, österreichischer, rheinisch-westfälischer, lothringischer und belgischer Hüttenwerke zu bereichern. Am 1. März 1904 trat ich in die Dienste der Friedrich-Wilhelmshütte und wurde 1909 Prokurist der Deutsch-Luxemburgischen Bergwerks- und Hütten-Aktiengesellschaft.

Abbildung 15. Netzbrenner.

Abbildung 16. Kopfbrenner.

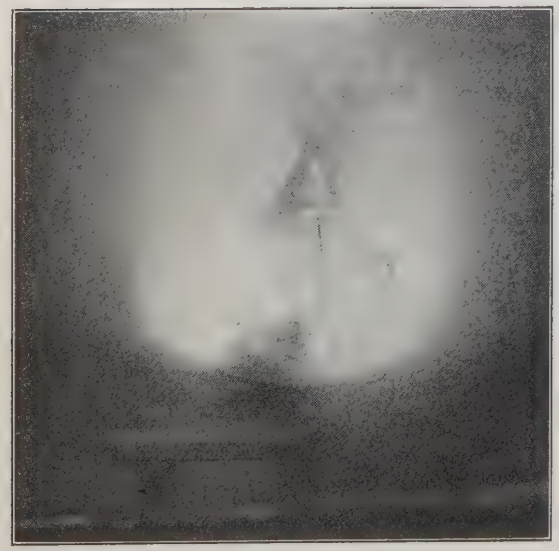

Abbildung 17. Kopfbrenner.

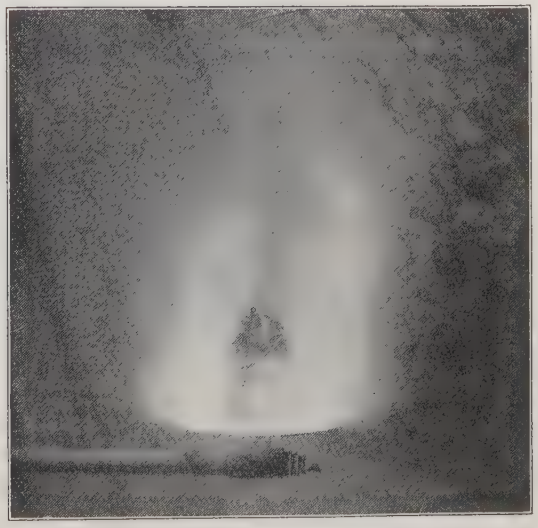

Abbildung 18. Haubenbrenner.

Abbildung 19. Stufenbrenner.

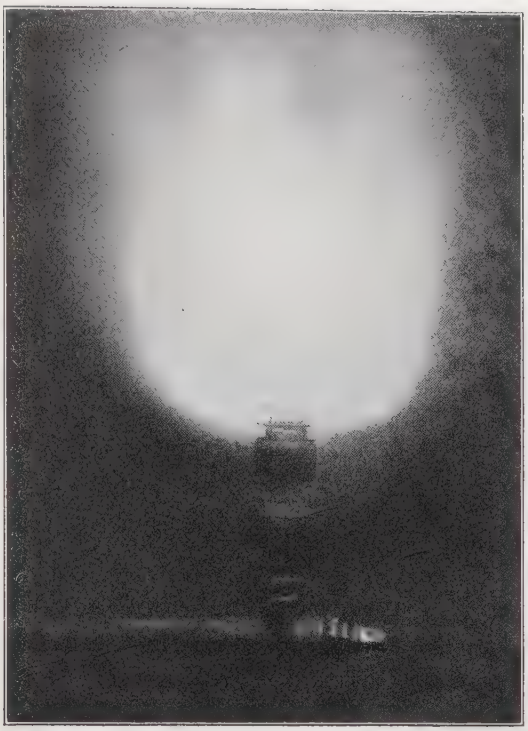

Abbildung 21. Büschelbrenner.

Abbildung 20. Plattenbrenner.

Abbildung 22. Fackelbrenner.

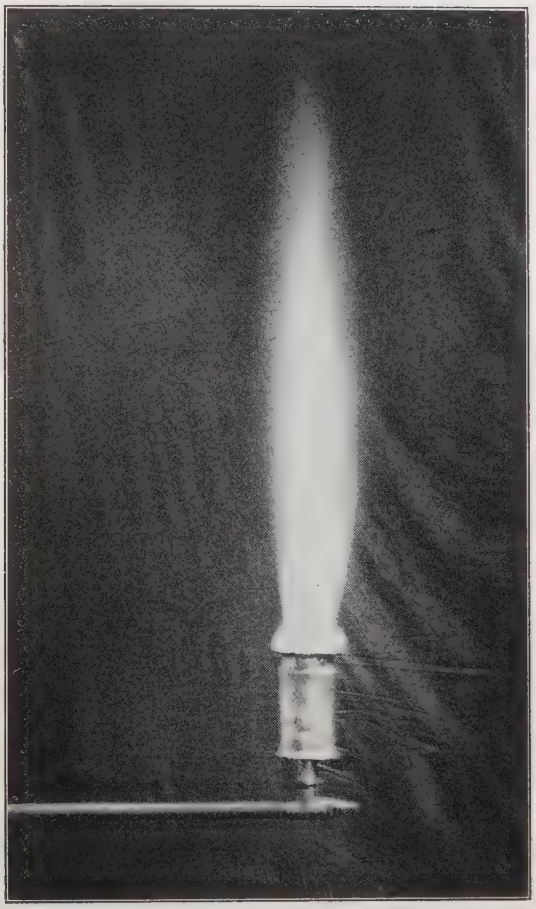

Abbildung 23. Langbrenner.

Abbildung 24. Langbrenner mit abgehobenem Mantel.

Abbildung 25. Kugelbrenner.

Abbildung 26. Heißluftbrenner.

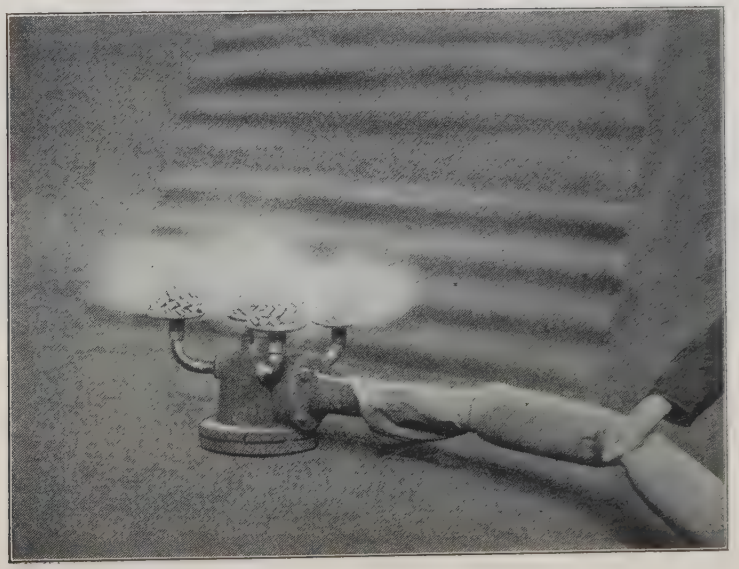

Abbildung 27. Vereinigung von Kopfbrennern

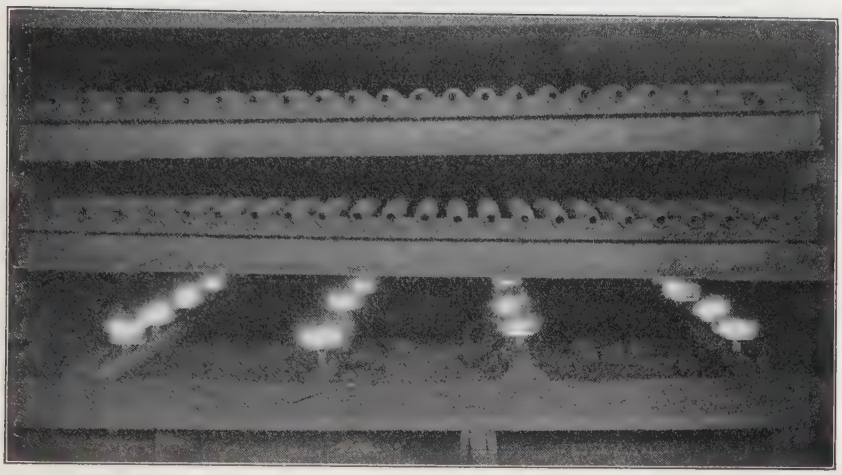

Abbildung 28. Rohrkern-Trockenkammer.

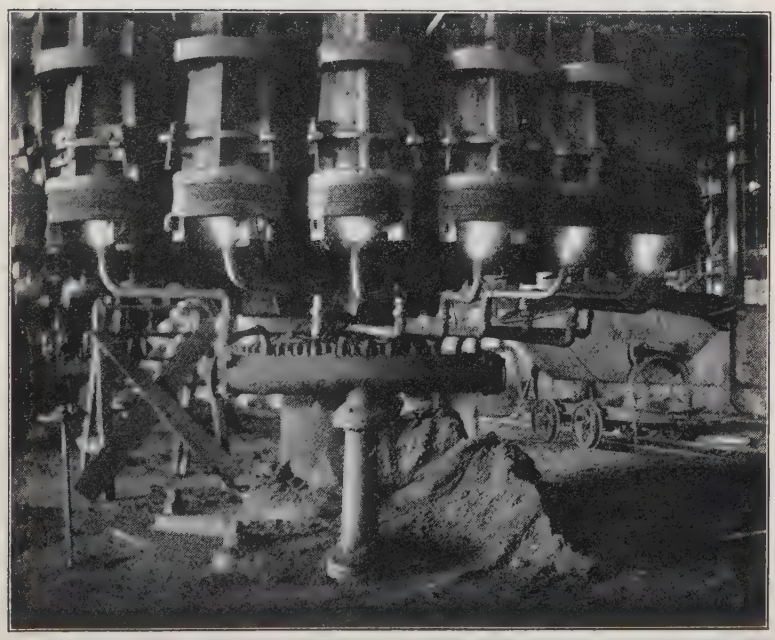

Abbildung 29. Trockenvorrichtung bei Formtrommeln für Rohre bis 350 mm Durchmesser.

Abbildung 30. Ofen zum Erhitzen der Rohre vor dem Teeren.

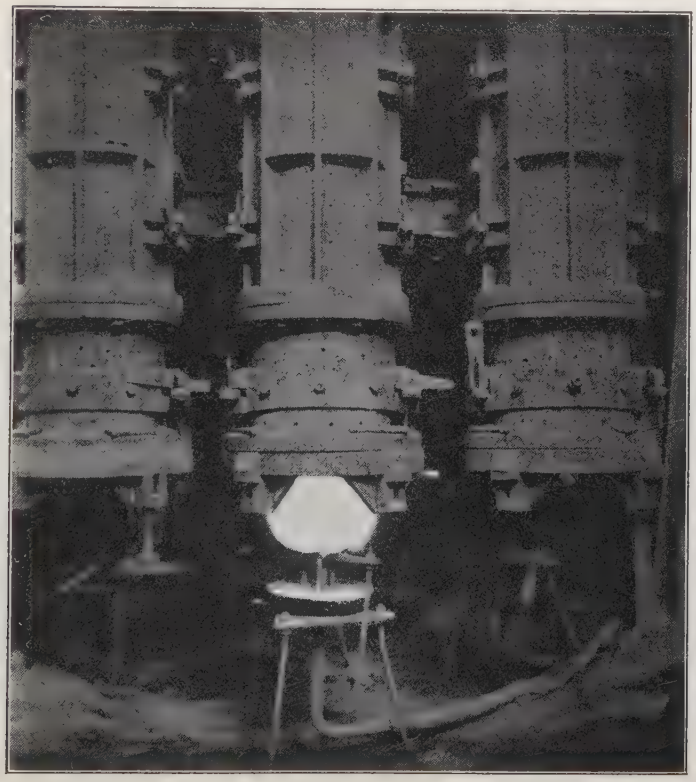

Abbildung 31. Trocknen der Formen für 400er Rohre bei feststehenden Formkasten mittels Kopfbrennern, die von Dreibeinen getragen werden.

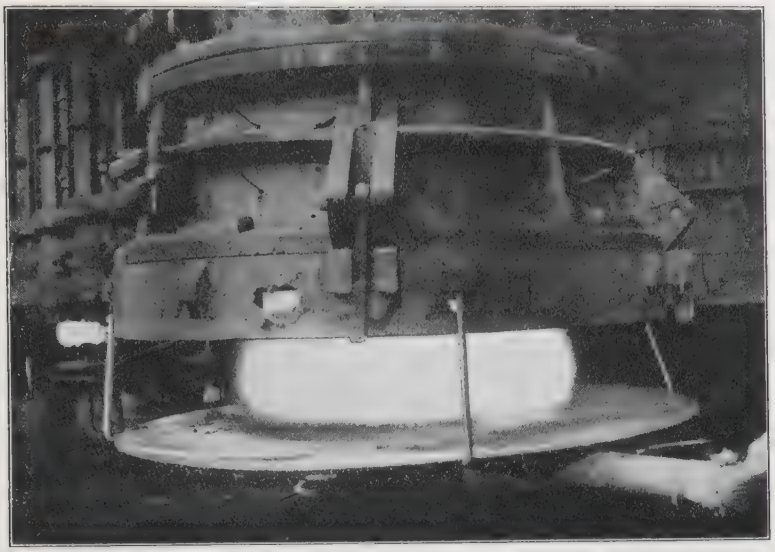

Abbildung 32. Trocknen eines 1200er Rohres mittels eines Plattenbrenners.
(Der Brenner ist zur Veranschaulichung herabgelassen.)

Abbildung 33. Trocknen eines 1200er Rohres mittels eines Plattenbrenners.
(Richtig angebrachter Brenner.)

Abbildung 34. Trockenkammer einer Lehmformerei.

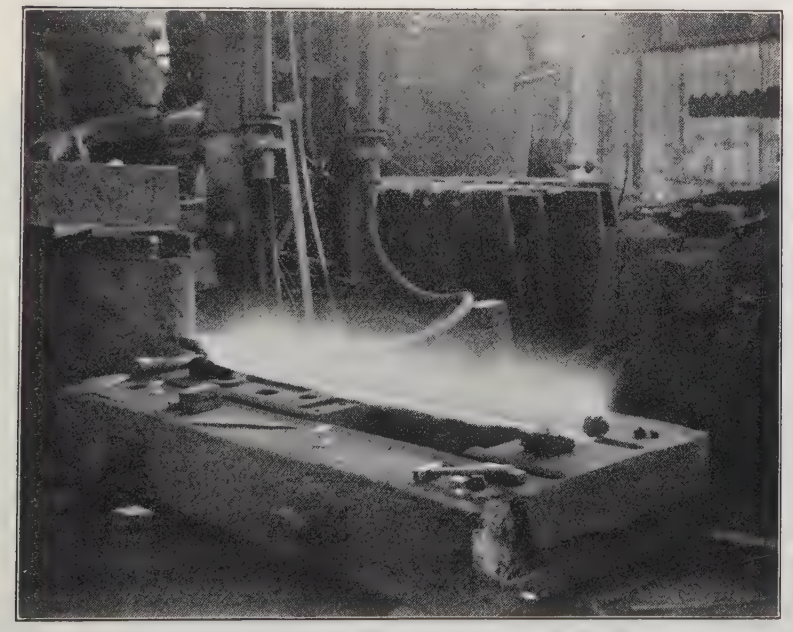

Abbildung 35. Trocknen eines Oberkastens mittels Strumpfbrenner.
(Die Flamme ist zur besseren Veranschaulichung nicht abgedeckt.)

Abbildung 36.
Trocknen des Oberkastens einer kleinen Form mittels eines Fackelbrenners.

Abbildung 37. Im Vordergrunde: Trocknen eines Oberkastens mittels zweier Strumpfbrenner.
(Die Flammen sind zur besseren Ausnutzung der Wärme mit Blechen abgedeckt.)

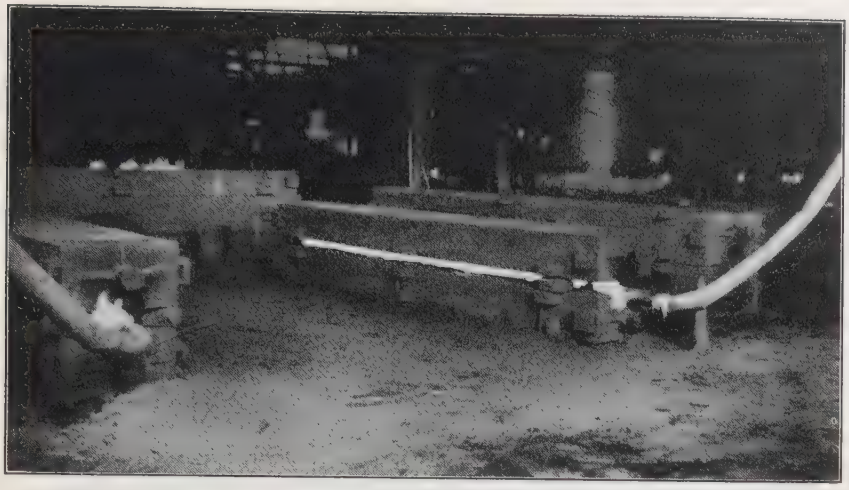

Abbildung 38. Trocknen der Form eines Flanschrohr-Paßstückes mittels Strumpfbrenners.

Abbildung 39. Trocknen der Form eines Gasmaschinenrahmens mittels Strumpfbrenners.

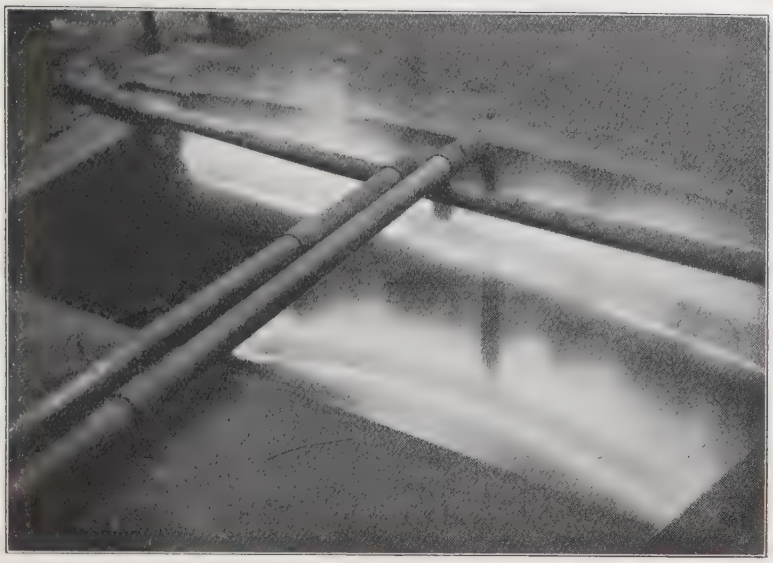

Abbildung 40. Trocknen der Form eines Senkschuh-Segmentes mittels Strumpfbrenners.

Abbildung 41. Vorrichtung zum Trocknen der Abstichrinne eines Martinofens.

Abbildung 42.
Trocknen der Form eines Gebläsezylinderdeckels mittels Strumpf- und Fackelbrenners.

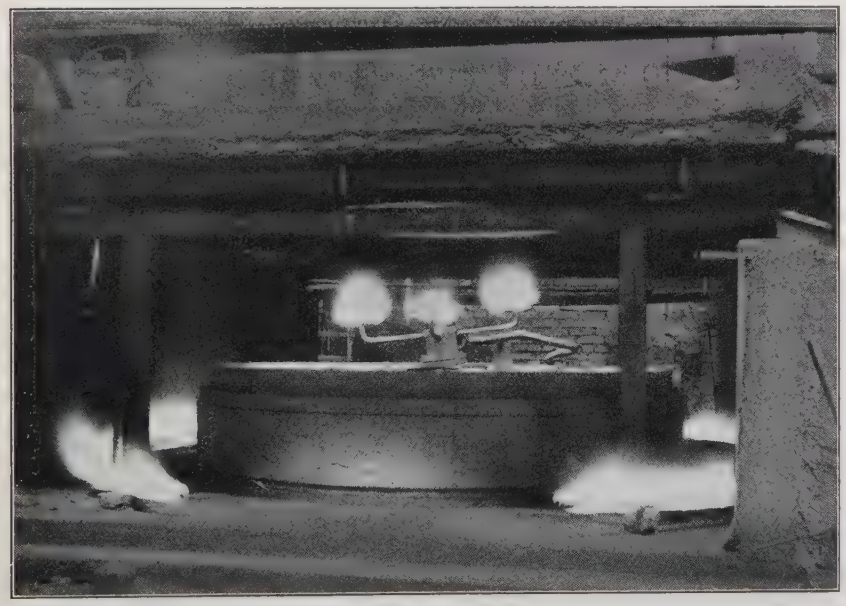

Abbildung 43. Trocknen der Form eines Gebläsezylinderdeckels mittels eines Strumpfbrenners und einer Vereinigung von Kopfbrennern.

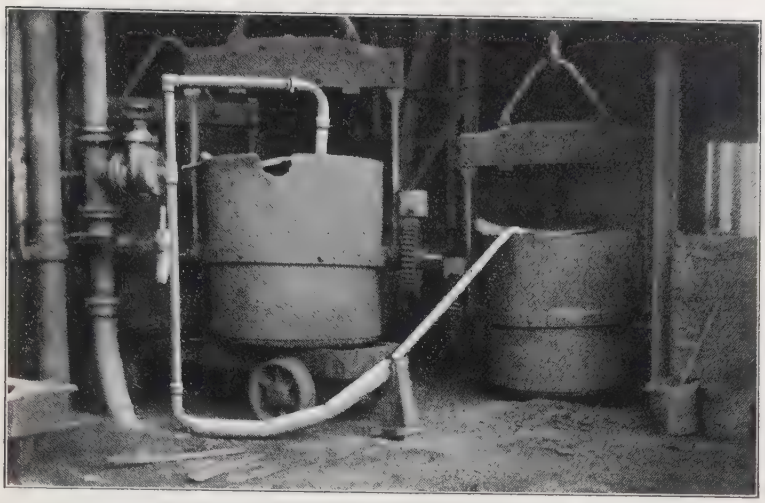

Abbildung 44. Pfannentrocknung (der aufrecht stehenden Pfannen).

Abbildung 45. Pfannentrocknung (der umgestülpten Pfannen).

Abbildung 46. Austrocknen eines neu hergerichteten Kupolofens.

Abbildung 47. Trockenofen für sogenannte Handkerne.

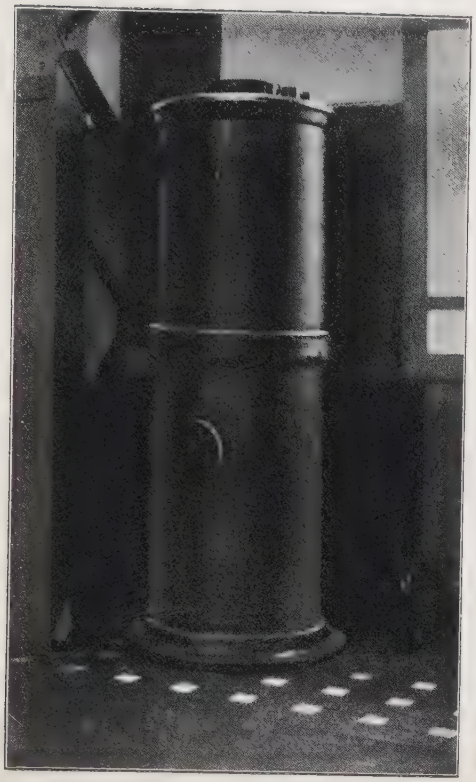

Abbildung 48. Heizofen
mit vorgewärmter Verbrennungsluft.

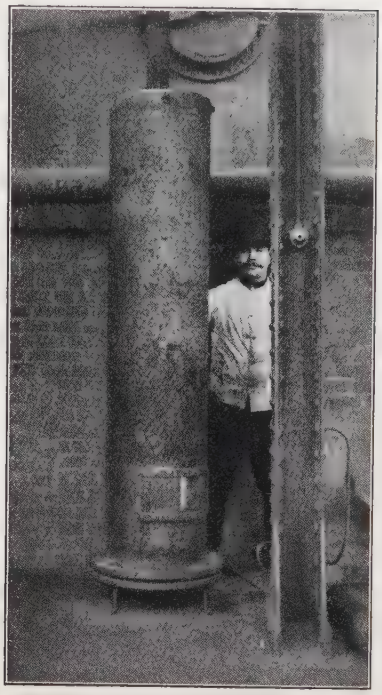

Abbildung 49. Heizofen.

Abbildung 50. Heizofen für Fabrikräume.

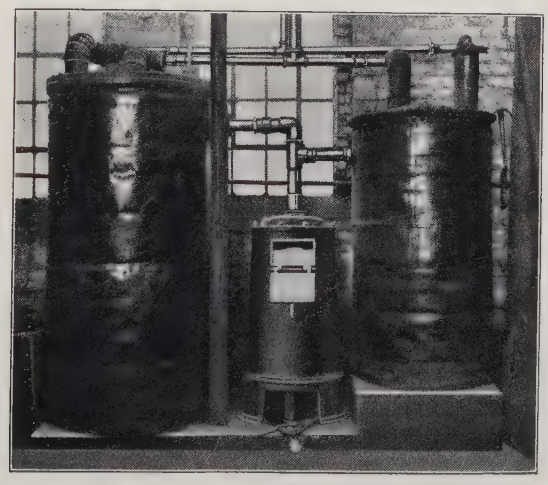

Abbildung 51. Badeofen.